

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО  
СВС НА ОСНОВЕ ТИТАНА-НИКЕЛЯ-УГЛЕРОДА**

Выпускная квалификационная работа  
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по  
отраслям)  
профилю подготовки Металлургия  
профилизации Технология и менеджмент в металлургических произ-  
водствах

Идентификационный код ВКР: 160

Екатеринбург 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Институт  
Инженерно-педагогического образования  
Кафедра  
Инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и  
металлургии

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Зав. Кафедрой ИММ

\_\_\_\_\_ Б.Н. Гузанов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018г

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПО**  
**СВС НА ОСНОВЕ ТИТАНА-НИКЕЛЯ-УГЛЕРОДА**

Исполнитель:

Обучающийся группы № МП-403

\_\_\_\_\_

(подпись)

Турлов М. С.

(Ф.И.О.)

Руководитель:

Ученое звание, степень, должность

\_\_\_\_\_

(подпись)

Ведерников М.В. старший  
преподаватель

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультант методического раз-  
дела:

Ученое звание, степень, должность

\_\_\_\_\_

(подпись)

Бекетова Ю.А. к. п. н.  
доцент

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Нормоконтролер:

Ученое звание, степень, должность

\_\_\_\_\_

(подпись)

Категоренко Ю.И. к.т.н.  
профессор

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Екатеринбург 2018

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 68 страницах, содержит 26 рисунков, 9 таблиц, 31 источников литературы.

Ключевые слова: СВС – ПОРОШКИ, ТИТАН, НИКЕЛЬ, ПОРОШОК, СВС – РЕАКЦИЯ.

Цель работы: ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ СВС НА ОСНОВЕ ТИТАНА-НИКЕЛЯ-УГЛЕРОДА, БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАКТОРА.

Основная задача: ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СМЕСЕЙ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА-НИКЕЛЯ- УГЛЕРОДА.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ .....	3
СОДЕРЖАНИЕ .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ.....	11
1.1 История создания СВС.....	11
1.2 СВС- исходные системы .....	13
1.2.1 Морфология реагентов и типы исходных систем .....	13
1.2.2. Химические классы компонентов исходных систем .....	14
1.3 Процессы.....	14
1.3.1 Горение в СВС- процессах .....	14
1.3.3 Термограммы горения.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3.4 Фронт, волна и пост-процессы.....	16
1.3.5 Основные характеристики	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3.6 Химические классы реакций СВС .....	16
1.4 Продукты .....	18
1.4.1 Состав и микроструктура.....	18
1.6 Специализированное СВС-оборудование .....	19
1.6.1 Универсальный СВС-реактор .....	19
1.7 Технологические типы СВС .....	20
1.7.1 СВС – порошки .....	22
1.7.2 СВС – спекание.....	25
1.7.3 Силовое СВС – компактирование.....	27

1.7.4 СВС – металлургия.....	30
1.7.5 СВС – сварка .....	33
1.7.6 Газотранспортная СВС – технология .....	34
2 ЭКСПЕРИМЕНТ .....	37
2.1 Способы получения порошков для СВС .....	37
2.1.1 Грубое дробление .....	38
2.1.2 Мелкое дробление .....	40
2.1.3 Окончательный размол .....	42
2.1.4 Оборудование для взвешивания .....	43
2.2 Химические реакции и их диаграммы состояния.....	45
2.2.1 Система Ti -C .....	45
2.2.1 Система Ti -Ni .....	47
2.3.1 Ход эксперимента.....	48
2.3.2 Результаты эксперимента .....	57
3 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС),- это химический процесс который проходит с выделение тепла в автоволновом режиме горения, и приводит к образованию твердых продуктов. СВС процесс является сильной экзотермичекой реакцией с тепловыделением локализованным слое и передающими от слоя к слою за счет теплопередачи. Группа ученых И.П. Боровинская, В.М. Шкиро и А.Г.Мержанов, исследуя в 1967 году экспериментальные модели горения конденсированных систем ,открыла новое явление получившее название твердое пламя. Для того времени данный процесс был необычным явлением так как исходные реагенты, промежуточные продукты,конечные продукты в течение всего процесса превращений остаются в твердом состоянии. Благодаря твердому пламени были получены ценные тугоплавкие материалы. Это и привело к открытию нового метода высокоэффективного производства - самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Исследование самораспространяющегося высокотемпературного синтеза открыли новые направления для исследований и практического применения. Незученные системы процессы и явления в которых возникали научные проблемы,задачи,практические применения при исследовании, стали желаемым объектом теоретического моделирования и экспериментальной диагностики. Благодаря химии в сочетании с макрокинетикой образовалась мощная идеология и методология исследований. И вследствие практических достижений появилась необходимость создания нового института, названным Институтом структурной макрокинетики АН СССР.[15]

Самым значимым достижением в технологии СВС- порошков следует принимать разработки автоматизированных линий, на их основе была создана компания «SHS Ceramicas» в Испании, которая специализируется на производстве СВС-порошков  $\alpha$ -модификации нитрида кремния и нитрида бора.

Полностью автоматизированным производством, управляет центральный робот, «руководящий» загрузкой в СВС- реакторы и последующей разгрузкой без вовлечения людей. Также продолжают автоматизироваться, другие процессы и операции. Метод порошков СВС- устремлен на развитие производств будущего. Сегодняшние достижения это:

Первое, структурные типы порошков СВС, на сегодня их 3:

1. Монокристаллы;
2. Агломераты;
3. Композиты.

Второе, химические способы получения:

1. Синтез из элементов;
2. Магнитоотермия;
3. Алюмотермия;
4. Получение сложных оксидов;
5. Азидный способ.

Третье, это способы организации процесса:

1. В вакууме;
2. Под давлением активного газа- азота или водорода;
3. На открытом воздухе.

Данные виды порошков и процессов продолжают развиваться и модифицироваться. Их тонкости рассматривать не будем, а отметим значительно важные технологические приемы получения наноразмерных СВС- порошков. В перспективе существует два реальных направления.

Все эти типы порошков и процессов развиваются и модифицируются. Не будем здесь разбираться в их тонкостях, а попытаемся отметить лишь некоторые принципиально важные направления технологических приемов для производства наноразмерных СВС - порошков. Здесь нам представляются реальными два направления.

4. Горение порошков с образованием промежуточных, газообразных продуктов реакции, проходящей в газовой форме. Данным процессом поликристаллический материал с нано размерными кристаллами. Превращение кристаллов в порошок, проводится методом химического диспергирования.

5. Горение газов с образованием конденсированных продуктов - метод газофазного СВС. При одинаковой конденсации в результате горения образуются частицы продукта, вырастающие в ходе процесса, но оставаясь нано размерными, не успевая вырасти.

Одно из важных направлений – это, терморреагирующие порошки, которые содержат горючее и окислитель, в одной частице. Порошки алюминия, плакированные никелем, является такими порошками. Тепловыделение у этих порошков в основном происходит в условиях эксплуатации, т.е. при переработке данных порошков. Например, терморреагирующие порошки, улучшают качество покрытия за счет тепла, выделяемого в нанесенном слое. Главным направлением на этом этапе является создание новых химических классов данных порошков- композитных или плакированных.

Важной задачей является создание плакированных нанопорошков, таких как, карбид титана, плакированный никелем. Данные порошки имеют очевидные перспективы применения в создании твердых сплавов. Даже если порошки одного итого же состава, но разной структуры, их техническая эффективность будет равна, при условии, что плакирующий компонент является низкоплавким. При нагреве частицы данное плакирование проходит самопроизвольно.

Но гораздо проще и экономически выгоднее получать композитные порошки. Практический интерес представляет целесообразность обязательного использования плакированных или композитных порошков, в тех или иных случаях. Технологии СВС – порошков необходимо дальнейшее развитие. Вслед за опытной СВС – технологией с использованием реактора, большого объема ручного труда, который повлиял на становление СВС как независимой научно-технологической области, с новыми технологиями и автоматиче-



скими линиями, появляются новые процессы, развитые в химической промышленности, но в технологии материалов не применяемые. Это процессы в проточных системах.

Известный принцип: соблюдения равенства массовых скоростей подачи реагентов, химических превращений в реакторе и отвода продуктов и в целом обеспечением устойчивости процесса.

Неверно было бы думать, что это чисто технологическая задача. Обеспечение устойчивости процесса требует практических исследований и теоретических расчетов. Наличие фронта горения в СВС - процессах, возможность его перемещения под влиянием малых возмущений скорости реакции создает трудности в стабилизации его положения в проточной системе. Несоблюдение условий стабилизации может привести либо к прогару, либо к затуханию процесса.

Иными словами, СВС в проточных системах почти не исследован. Это может создавать трудности в реализации технологических идей, направленных на создание непрерывных технологий.

В непрерывных процессах могут применяться различные технологические схемы. Это системы с дозированной, дистанционной подачей реагентов при ограниченной скорости подачи («сколько реагента подается, столько его и сгорит»). Данная ситуация происходит в «шахтных печах». Системах с непрерывной подачей реагентов в раструбный объем с автостабилизацией фронта в сходящей части выходного конуса.

Важным направлением для развития является горение газов, газовзвесей в электрогорелках и циклонных топках. Данные процессы всегда протекают непрерывно, важным является накопленный опыт в энергетическом горении по непрерывным камерным процессам и процессам в топках. Учитывая, что при энергетическом горении образуются газы, скорее газовзвеси.

В технологии СВС необходимо было бы обсудить особенности конкретных процессов. Базовая технологическая схема усложняется в каждой конкретной системе за счет индивидуальности конечного продукта.

Например, при получении гидридов нужен медленный темп остывания продукта, обеспечивающий полноту гидрирования,  $\alpha$ -модификации нитрида кремния, регулирование температуры горения, разбавление шихты конечным продуктом у карбида-титана и т. д.

Данные вопросы актуальны, но выходят за рамки данной темы.

Говоря о СВС- производстве, очевидно, что освоение производствами технологических процессов, дающими, имеющую спрос на рынке продукцию, необходимо

Что касается СВС - производств, то очевидно, что производственное освоение любых технологических процессов, которое дает пользующуюся спросом на рынке продукцию, надо укреплять. Известный лозунг: «Хороша та технология, которая дает продаваемый на рынке продукт», абсолютно применимо и к технологии СВС. [6]

### **1.1 История создания СВС**

За основу для создания СВС процессов было взято научное открытие явления твердого пламени (полное название "явление волновой локализации твердофазных самоторможение реакции"), которое было сделано в научном центре АН СССР в Черноголовке, недалеко от Москвы, в 1967 году (авторов открытий и методов СВС-А. г. Мержанов, И.П.Боровинская, В.М.Шкиро).

До открытия СВС-процессов были созданы экспериментальные модели безгазового горения(железо-алюминиевый термит, забаластированный оксидом алюминия) и синтетические плитки чистой, меди и серебра, которые разлагаются, при этом выделяя тепло, и реализации режимов горения без газов.

Считается, что первооткрывателями СВС "внепечная" металлургия Бекетов-Гольдшмидт и теория горения нового времени Семенов-Зельдовича.

Существует три этапа СВС: 1-й этап(1967-79гг.) изначально, научно-исследовательские работы проходили в Черноголовке, а после и в других городах( Томск, Ереван, Киев и др.).

Основополагающим результатом, в происходящей работе, является научная основа процессов СВС, методология и идеология исследования. Для того, чтобы проводить работы, научным коллективам приходилось задействовать свои внутренние резервы, то есть без специального финансирования.

На 2-ом этапе работы началась поддержка со стороны государства. Благодаря постановлениям Совета министров СССР, в Черноголовке была произведена постройка зданий, запущена работа научного Совета по теории и практике процессов СВС Государственного комитета по науке и технике, а

так же была принята Всесоюзная программа работы. Через некоторое время был создан межотраслевой научно-технический комплекс "Термосинтез" (консорциум, который объединил в себе научно-исследовательские, проектные, технологические и производственные организации) во главе которого стоял Институт структурной Макрокинематики Академии Наук СССР (ИС-МАН), также были основаны научно-технические центры СВС в различных городах.

Главным результатом является организация промышленного СВС-производства по единому плану МНТК.

На 3-м этапе произошел распад СССР и в связи с этим прекратилась государственная поддержка работ, так же произошел распад МНТК "Термосинтез", но управление работами централизовано не было прекращено. С этого момента, организациям пришлось работать в условиях рыночных отношений, только по специальным заказам, контрактам и грантам.

С началом 1980-х годов СВС начала развиваться и в других странах мира, сначала в США и Японии, затем в Польше, Китае и др. (по данным, которые предоставляет ИСМАН-ИНФОРМ, на данный момент проблема СВС существует в 47 странах). Изначально, работы за рубежом повторяли советские (будто сверяя их верность), а затем были сделаны свои достижения. В США это было создание энергетически стимулированных СВС-процессов, в которых использовались джоулевый и микроволновой нагрев, составление и решение комплекса задач математического моделирования процессов с не легкими физико-химическим механизмом; в Японии создавались функциональные градиентные материалы СВС, рост монокристаллов из огнеупорных бескислородных продуктов СВС, центробежная технология для создания труб значительно крупного диаметра, газостатическое уплотнение продуктов СВС; в Польше происходили разработки пластиковой керамики. Китай и Испания достигли больших промышленных достижений. В Китае было создано 10 заводов, которые основываются на технологии СВС, производя трубы с износостойким покрытием, которые предназначены для транспортировки аб-

развивных сред в горнодобывающей и цементной промышленности, а в Испании, при поддержке ИСМАН- было создано первое во всем мире автоматизированное (с роботом в цехе синтеза) производство керамических порошков СВС. В 1990-х годах происходило развитие международных отношений в отношении СВС. Было сделано большое количество совместных работ и работ на заказ. Начиная с 1991 года постоянно проводится Международный симпозиум "Самораспространяющийся высокотемпературный синтез", инициативу по его проведению и организационному управлению взяло на себя ИСМАН, также был создан международный журнал под таким же названием (Allerton Press, N-Y, USA).

Развитию СВС на мировом уровне поспособствовали: проведение симпозиумов СВС на Международном уровне (начиная с 1991 года) в различных странах и выпуск Международного журнала по СВС (Allerton Press, N-Y, USA с редакцией, происходящей в ИСМАН), начиная с 1992 года.

Эксперименты по прямому получению методом СВС материалов и изделий впервые были проведены в 1975 году. С этого момента пошло развитие синтеза спеченных изделий, СВС - компактирование и наплавка, СВС-сварка и т.д. Для данных процессов стало необходимым новое специализированное СВС - оборудование: газостат высокого давления, пресс- формы, центробежные установки, сварочные устройства и т.д. Дополнительное оборудование в СВС- технологии предназначено для сушки реагентов, смешивания, дозирования и формирования экзотермической шихты, а также для обработки конечного продукта: обогащения, размолла, классификации и д.р. Технологические линии для производства СВС- продуктов определяют своей целью предать СВС- технологии современную технологическую форму для предания наивысшей производительности, высокого уровня механизации и автоматизации, а так же безопасности производства большого количества.[2]

## **1.2 СВС- исходные системы**

### **1.2.1 Типы исходных систем и морфология реагентов**

В СВС процессах основными реагентами выступают тонкодисперсные порошки, тонкие пленки, жидкости и газы.

Самые распространенные это системы: смеси порошков (насыпная или спрессованная плотность) и смешанная система газ- порошок (спрессованный агломерат). Также существуют системы жидкость-порошок, пленка-пленка-газ-газ, газовзвесь.

Важное требование, применяемое к структуре системы – это соблюдение условий для эффективного взаимодействия реагентов.

СВС - процессы можно проводить в вакууме, в газе под давлением, и на воздухе.

### **1.2.2. Компоненты исходных систем и химические классы**

Вещества, которые химически активизируются при высоких температурах, могут создавать СВС-системы, а инертные вещества служат в роли разбавителей и наполнителей.

Часто используемыми реагентами являются:  $H_2$ , В, Al, С,  $N_2$ ,  $O_2$ , Mg, Ti, Nb, Mo, Si, Ni, Fe,  $B_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ , Mo  $O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , NiO и др.

Минеральное сырьё и отходы производства также подходят для СВС-систем.

Главными условиями подбора компонентов СВС-системы являются:

- экзотермичность реагентов реакций
- получение твердых и полезных продуктов
- техническая и экономическая целесообразность.

## **1.3 Процессы**

### **1.3.1 Горение в СВС- процессах**

В СВС-процессах горение назвали твердое пламя (другое название "твердопламенное" горение)

Самые распространенные виды горения:

- безгазовое (идет в основном небольших системах с малым выделением примесного газа или совсем без газовыделения)
- фильтрационное (идет в основном смешанных система с подводом газа через фильтр к фронту горения).
- многофазное (горение проходит в исходных или образующихся многофазных средах)

### **1.3.2 Способы инициирования реакции и режимы распространения фронта горения**

Основным Основным методом локального инициирования системы является метод подачи теплового короткого импульса (лазерного луча, электропила, электрического искрового разряда и т. Д.) На поверхность.

С образованием и распространением волны горения вдоль исходного, нагретого вещества. Продолжительность инициации обычно намного короче, чем время горения заряда.

Для слабо экзотермических реакций инициирование происходит от нагревания поверхности партии в печи, проводя ее в режиме термического взрыва

В простейшем и наиболее значительном стационарном режиме на фоторегистрограмме все точки движутся с одинаковой скоростью и постоянны во времени. После потери устойчивости режима возникают неустойчивые моды распространения фронта:

- плоские самоколебания скорости переднего сгорания (пульсирующее сгорание),
- локализация реакции горения в фокусах, движущихся вдоль траектории винтов (спиновых волн),
- хаотическое движение большинства очагов сжигания (беспорядочное сплошное пламя).

В случае сильных тепловых потерь малые диаметры образцов, низкие адиабатические температуры, волна горения не будут распространяться.

### 1.3.4 Фронт реакции, волна и последующие процессы

Различные физические, химические и физико-химические процессы проходят в волне, горения, в совокупности, обеспечивая нужное тепловыделение. Волна на определенной протяженности разделяется на зоны:

- зоны прогрева или пред пламенной зоны (здесь идет в основном только теплоперенос, а реакции горения не идут)
- зоны реакции (здесь, обеспечивая необходимое тепловыделение идут основные реакции)
- зоны догорания (здесь идет продолжение химических реакций, которые е влияют на скорость распространения фронта)
- зоны (стадии) вторичных физико-химических превращений, которые определяют состав и структуру конечных продуктов реакции.

Волной горения называется распространение зоны химических реакций.

Фронт - это название условной поверхности, которая разделяет зоны прогрева и реакции (передний край высокотемпературной зоны волны). Основной стадией СВС-реакции является прохождение волны горения. Известная формула выглядит так:

СВС = горение + структурообразование,

Структурообразование составляют вторичные физико-химические превращения. [2]

### 1.3.6 Химические классы СВС- реакций

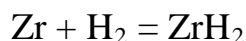
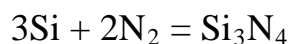
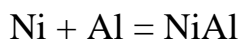
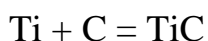
Для процессов СВС химическая природа реагентов не имеет прямого значения – в данных процессах, важны только величина теплового эффекта реакции, а также законы теплообмена и тепловыделения. Также значимым фактором является агрегатное состояние реагентов и агрегатное состояние-



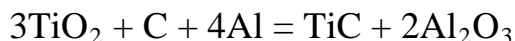
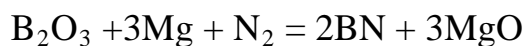
продуктов реакции. Особое важное влияние оказывает кинетика фазовых и кинетика структурных превращений, а незначительную часть другие макроскопические характеристики процесса СВС.

Поэтому химия процессов СВС довольно разнообразна. Самые распространенные реакции СВС процесса имеют вид:

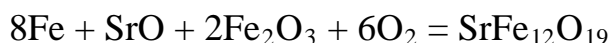
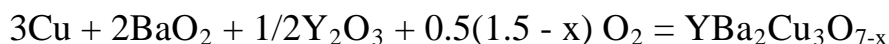
- синтеза из элементов реакции



- окислительно-восстановительная реакция

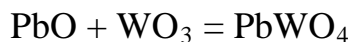


- окисление металлов в сложных, оксидных средах

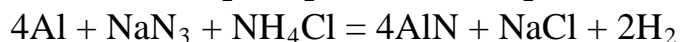
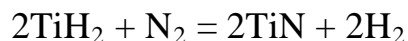


Известны также СВС-реакции:

- синтез из соединений



- реакция на взаимодействие элементов разлагающимися соединениями



- термическое разложение сложных соединений



## **1.4 Продукты реакции**

### **1.4.1 Микроструктура и состав систем**

Характеризуется разнообразием состава и микро- и макроструктур. Продукция СВС - это твердые вещества любых форм, разных размеров. К ним относятся порошки различной дисперсности, слабосвязанные конгломераты частиц, пены, спецификации и слитки различной прочности, пленки, волокна, кристаллы. Масса изделия зависит от его начальных значений и, в степени степени, от механизма процесса.

В смешанных системах макроструктура обычно, в гибридных системах (пористое тело-газ) при наличии трудностей фильтрации может наблюдаться распределение состава по сечению образца после СВС.

В особых случаях намеренно создавать неоднородные макроструктуру продукта (получение многослойных и функционально-градуированных материалов).

Химический и фазовый состав продуктов определяется составом техносистемных систем, их диаграммами состояния, эффективностью горения, условий охлаждения.

Примесный состав продуктов определяется не только чистотой реагентов, но и зависит от глубины процессов самоочистки при горении. Продукты, полученные в оптимальных условиях, характеризуются высокой чистотой не реагирующих исходных веществ и примесью кислорода.

Продукты СВС представляют собой, как правило, поликристаллическую структуру с размерами кристаллитов от 1 до 5 мкм. Приведены примеры получения наноразмерных (и аморфных) и крупнокристаллических структур (с размерами кристаллов до 3 мм). Размер кристаллитов зависит от ско-

рости охлаждения после горения и кинетики процессов кристаллизации и рекристаллизации.

Пористость (дисперсных) продуктов сгорания может варьироваться от почти нулевого значения (компактные материалы) до высоких значений (90-95%, пена). [9]

### **1.6 Специализированное СВС-оборудование**

#### **Универсальный реактор для СВС-процесса**

Реактор на рисунке 1 предназначенный для синтеза тугоплавких соединений: карбидов, нитридов, карбонитридов, гидридов и других в режиме сгорания порошков был разработан в ИСМАН. Порошки горят внутри реактора при высокой температуре, более 2000 С, а давление составляет 10 МПа. Отличие данного реактора во внутреннем объеме и максимальном рабочем давлении, Аббревиатура СВС и цифра, показывает объем реактора в литрах, пример, СВС- 3,5.

Строение реактора внутри зависит от типа продукта. Представленный реактор используется для синтеза силицидов, боридов. Футеровка внутри выполняется пористым графитом. Данная футеровка служит защитой корпуса реактора от воздействия высоких температур, выполняет роль теплоизоляции смеси от холодных стенок реактора, удаляет газы, образующиеся при горении, также обеспечивает свободную выгрузку агломератов из реактора. Это возможно благодаря свойствам скольжения графита и его слоистой структуре. Внешняя поверхность имеет канавки, для газоудаления.

После загрузки шихты реактор закрывается и, в зависимости от цели, вакуумируется или заполняется газом. Локальное инициирование осуществляется с панели управления текущей подачей на спираль. Поток процесса СВС контролируется изменением давления газа в реакторе и температурой охлаждающей воды. Охлаждение продуктов синтеза до 25-350 ° С осуществляется непосредственно в реакторе. При производстве нитридов гидридов для увеличения контактной поверхности заряда азотом или водородом реактор фиксируется в горизонтальном положении. Чтобы обеспечить фильтра-

цию реагирующих газов, заряд загружается на газопроницаемую тонкостенную лодку с ребристой поверхностью. В зависимости от температуры, развивающейся во время синтеза, лодка может быть изготовлена из графита или стали. При низкой температуре (не выше 1500 °С) стальные лодки являются наиболее экономичными. Недостатки технологии SHS включают сложность операций открытия и закрытия ручного клапана, низкую технологичность операции зарядки, однократную эксплуатацию.

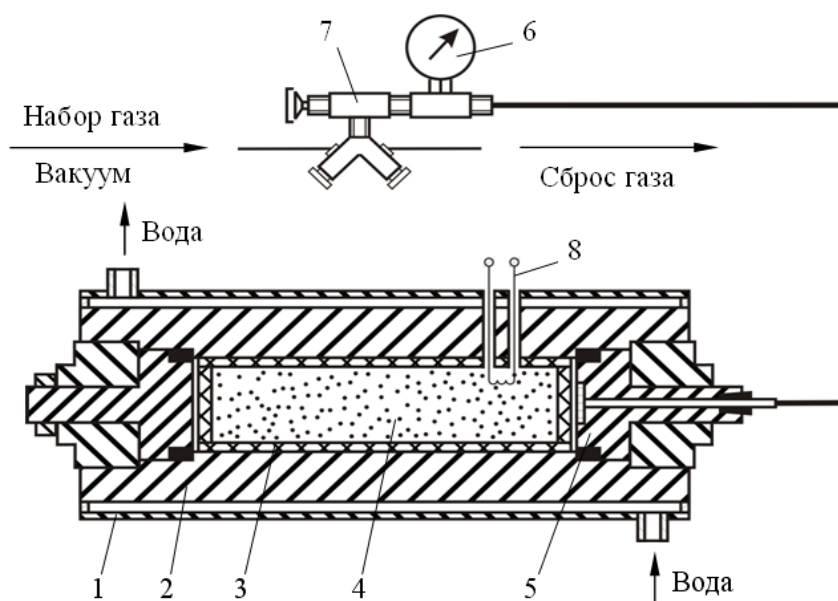


Рисунок 1 – Универсальный СВС-реактор для синтеза карбидов и др.:

1 – рубашка охлаждения; 2 – корпус; 3 – графитовая футеровка; 4 – реакционная шихта; 5 – грибовидный затвор; 6 – манометр; 7 – газораспределительный узел; 8 – иницирующая спираль

Также существуют другие типы реакторов: это фильтрационный СВС-реактор, реактор СВС- сложных оксидов, реактор азидной СВС-технологии, и реактор сложных оксидов. Данные реакторы более технологичны и имеют сложное строение в отличии от универсального.

### 1.7 Технологические типы СВС

Технология СВС необходима для получения и обработки различного рода изделий в основе которой лежит горение порошкообразных компонентов. Общая схема технологии СВС представлена на рисунке 4. Она включает

в себя такие основные технологические стадии, как приготовление шихты из порошкообразных реагентов, проведение собственно процесса СВС (сжигание шихты) и переработка продуктов горения. Там же приведены конкретные технологические операции на каждой основной стадии технологии СВС.



Рисунок 2 – Схема основной технологии СВС.

Технология СВС характеризуется:

- низкими затратами электроэнергии;
- простотой технологического оборудования;
- высокой производительностью;
- способностью сохранять экологическую чистоту;
- снижением числа технологических стадий по сравнению с традиционными технологиями;
- возможностью создания гибких производств, легко переходящих от получения одних материалов к получению других на одном и том же оборудовании и поддающихся механизации и автоматизации;
- возможностью замены дорогих сырьевых материалов при производстве одних и тех же продуктов более дешевыми;

- высокими техническими и экономическими показателями по целому ряду ценных материалов и изделий для современной техники.

Сейчас с помощью СВС синтезировано свыше 1000 различных неорганических соединений, материалов и изделий. Опыт применения СВС – технологий показывает, что разнообразие приемов и широкий спектр параметров позволяют получать практически любые известные в настоящее время ценные тугоплавкие, жаростойкие, твердые, износостойкие порошки, материалы и изделия, а также целый ряд композиций, обладающих новыми эксплуатационными свойствами. [17]

### 1.7.1 Технологический тип СВС – порошки

Технология СВС- порошков основывается на сжигании исходной смеси шихты в реакторах, емкость которых от одного до нескольких десятков литров. Сжигание может проходить в инертном газе, вакууме или на открытом воздухе.

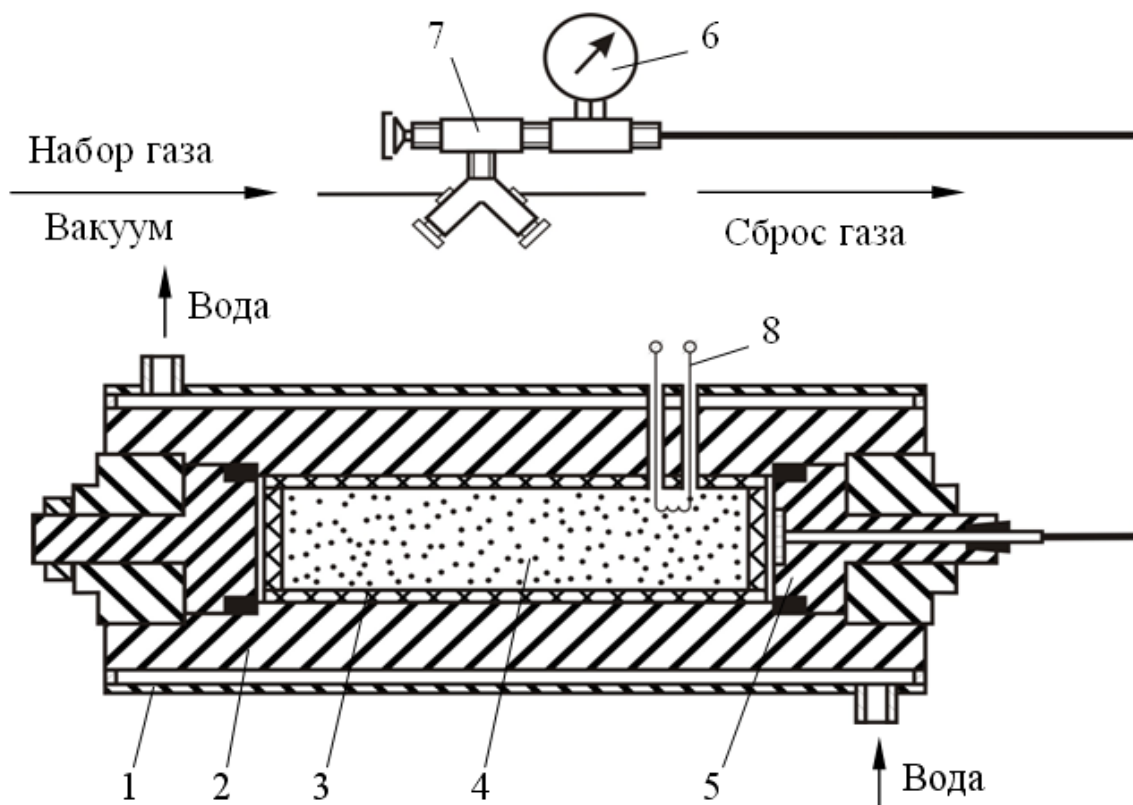


Рисунок 5 - Схема универсального СВС-реактора для синтеза карбидов:

1 – рубашка охлаждения; 2 – корпус; 3 – графитовая футеровка; 4 – реакционная шихта; 5 – грибовый затвор; 6 – манометр; 7 – газораспределительный узел; 8 – инициирующая спираль

Реактор на рисунке 5, толстостенный стальной сосуд, имеющий водоохлаждаемую рубашку и затворы. В зависимости от вида продуктов синтеза, внутренне устройство удовлетворяет различным специфическим требованиям.

Графитовая футеровка внутренней поверхности предназначена для синтеза карбидов, силицидов и боридов.

В реактор загружается шихта, после этого его заполняют газами или вакуумируют. Иницирование СВС происходит от подачи на вольфрамовую спираль, которая касается шихты, электрического импульса с пульта управления. По изменяющемуся давлению газа в реакторе, а также по меняющейся температуре охлаждающей воды контролируют протекание процесса СВС. Полученные продукты горения имеют вид порошка, спека или слитка.[18]

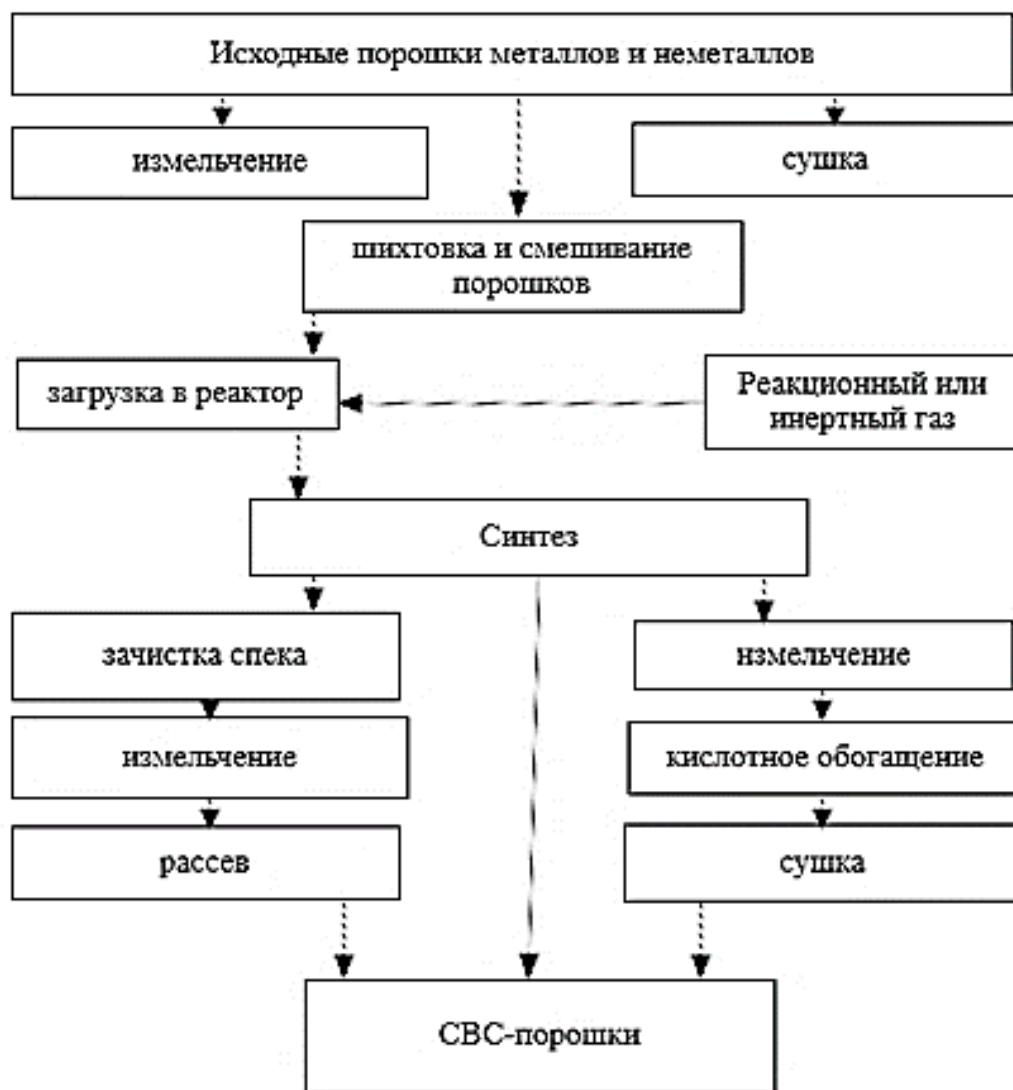


Рисунок 6 – Технологическая схема получения порошков.

Благодаря особенному получению СВС- порошки по своей структуре и чистоте отличаются от тех которые получаются в печи.

Различают всего 3 вида порошков.

- Композитные;
- Монокристалльные;
- Агломератные.

Композиционные порошки обладают лучшими рабочими свойствами по сравнению с порошками из механических смесей того же состава. Примером может служить кермет порошки, используемые для нанесения на детали, работающие при температурах до 900 оС.



Монокристаллические порошки, состоящие из монокристаллов размером от 0,5 до 3 мкм, являются одними из лучших для спекания сырья.

Агломератные SHS-порошки - это частицы, которые являются сплошными взаимосвязанными кристаллами. Частицы имеют размер от 10 до 200 мкм. Например, СВС представляет собой порошок из карбида титана, из которого получают абразивные, высокоэффективные пасты.

SHS-технология порошков, изображенная на рисунке 6, является одной из самых востребованных из всех подобных и широко, распространенных не только в нашей стране и за рубежом. Сегодня выпускается около 50 различных марок порошков, отличающихся от аналогичных по структуре и чистоте. Высокая химическая чистота является одним из важных свойств порошков СВС. В условиях оптимального синтеза высокая полнота преобразований обеспечивает пониженное содержание примесей и отсутствие загрязнения продуктов сгорания контейнерами. У основного вещества в порошках, процентное содержание преобладает на 99-99,5%.

Основной целью порошков является сырье для порошковой металлургии. Они в основном используются в зависимости от размера: менее 3 мкм в технологии спекания, от 3 до 10 при горячем прессовании, от 20 до 60 мкм для удаленного покрытия покрытий, 40-100 мкм для платинового покрытия, 500-1000 микрон - электрическая дуга наплавка и 1-500 микрон - производство высокоэффективных абразивных паст.

### **1.7.2 СВС – спекание**

Основными преимуществами технологии SHS являются:

- Высокая производительность;
- Отсутствие сложного оборудования и затрат на электроэнергию;
- удовлетворительное качество порошков.

Спекание порошков СВС осуществляется на специальных заправочных станциях, термовакуумных камерах или на открытом воздухе. Синтезированная смесь образуется в готовом продукте. Организация идет так, что во

время процесса SHS форма заготовки и ее размеры не меняются. Готовый продукт получают с пористостью 5-50%.

Эта технология используется в синтезе нитридной керамики. Объединяя процесс SHS с высоким давлением газа, азот действует как газообразный реагент. При газостационализации простого соединения или сложного состава, образующего изделие, и структура материала синтезируется в одностадийном процессе.

В конце процесса агломерат измельчается в вибромашине.

В качестве измельчающей среды используется дистиллированная вода. После шлифования проскальзывание прессуется в магнитном поле с прочностью от 350 до 400 кА / м до относительной влажности 20%. Поливиниловый спирт используется в качестве связующего при формировании заготовок. В зависимости от свойств требуемой продукции, различной температуры и продолжительности от 1180 до 1230 ° С и от 1,5 до 4 часов, соответственно.

Объектами синтеза являются материалы и изделия с пористостью от 1 до 80%, в том числе:

- Структурный неметаллический нитрид, нитрид-карбид, нитрид-боридная керамика без добавок, активирующее спекание;
- Термостойкая, коррозионностойкая керамика на основе нитрида алюминия и его составов с боридными переходными металлами;
- Керамика нитрида бора и его смесей с оксидами;
- Функциональная керамика на основе неметаллических нитридов кремния, алюминия;
- Триботехническая керамика, показанная на рисунке 7, с высокими эксплуатационными характеристиками на основе нитридов и карбидов кремния, нитрида бора;
- Новые оригинальные многокомпонентные композиции из неметаллических нитридов титана, карбидов кремния, алюминия, бора с тугоплавкими металлоподобными соединениями.

Синтез с газоснабжением SHS дает уникальные свойства материалам и изделиям:

- Высокая коррозионная стойкость пористых изделий из СВС-керамики в расплавах металлов;
- Повышенная устойчивость изделий к тепловому удару;
- Высокая твердость.

Наиболее важную роль в использовании современных технологий начинают играть такие продукты из неметаллической SHS-керамики, как:

- Тигли, трубы для плавки и транспортировки цветных и черных металлов;
- Детали для керамических двигателей;
- Фильтры, структуры, носители катализаторов;
- Жаростойкий, огнестойкий кирпич, плиты, детали и устройства для их крепления;
- Подложки микросхемы.



Рисунок 7 – Керамические изделия

### **1.7.3 Технологический тип СВС – компактирование**

В этой технологии СВС процесс сочетается с обработкой давлением горячего продукта (прессование, экструзия, прокатка, пескоструйная обработ-

ка). Технология мощного уплотнения успешно используется сегодня для получения уникальных ответственных продуктов:

- Режущие пластины;
- Марки;
- Фильтры;
- износостойкие детали машин;
- Электроды дальнего действия для наплавки и электроискрового легирования;
- Цели для магнетронного распыления.

Основой твердых сплавов без вольфрама с общим названием STIM (синтетический материал твердого инструмента) являются карбиды, бориды, нитриды, карбонитриды и другие огнеупорные соединения металлов (Ti, Zr, Na и т. Д.).

Сплавы TRIM различны и представляют собой высокую твердость (твердость 90-110 HRA) и материалы с высокой прочностью (прочность на изгиб достигает 800-1300 МПа). Часть из них обладает уникальными свойствами. Например, STIM-5 обладает высокой способностью резания. STIM-1B / 3 имеет высокий индекс режущих свойств, который работает на уровне лучших керамических непереключаемых пластин с высокой скоростью резания. Сплав TRIM-4 обладает исключительной стойкостью к коррозии и термоциклированию и обладает хорошими технологическими свойствами. На основе метода SHS были изготовлены крупные карбидные изделия - рулоны для прокатки цветных металлов.

Заготовки и изделия с большими размерами, полученными по технологии силового SHS-уплотнения, имеют высокую однородность и равномерное распределение прочности и твердости по всему объему. В технологии мощного SHS - уплотнения крупногабаритных изделий одним из основных значений является конструкция реакционной формы, в которой происходит сжигание, формирование структуры и образование.

Структура должна выполнять несколько функций:

- выдерживать высокие температуры,
- Обеспечить эвакуацию выпускаемых газов,
- обеспечить термическую изоляцию продуктов горячего синтеза для увеличения времени термической релаксации,
- эффективно передавать давление для деформирования продуктов горячего синтеза в непористую форму.

Крупноразмерные карбидные СВС-продукты практически не имеют аналогов в порошковой металлургии. Экономический анализ ситуации с производством продуктов из карбида свидетельствует о несомненном преимуществе SHS-технологии в этом случае. [17]

Одним из направлений в SHS - технологии силового уплотнения - является производство функциональных градиентных материалов (FGM), т. Е. Материалов по объемному составу. На сегодняшний день получены карбидные градиентные пластины двух типов: с симметричным и асимметричным распределением связующего (SIGMA-1 и SIGMA-2).

Изделия СВС из карбида градиента могут использоваться в качестве ударопрочных и износостойких материалов.

Таблица 2. Характеристики СТИМ материалов

Марка сплава	Основной состав	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Средний размер зерна, мкм	Твердость, HRA	Предел прочности на изгиб, МПа	Области применения
СТИМ- 1Б/3	(TiC–TiB <sub>2</sub> ) +Cu	4,94	5-7	93,5	700-800	Режущие пластины
СТИМ-2	TiC+Ni	5,50	5-7	90	1000-1100	бронепластины
СТИМ-2А	TiC + (Ni–Mo)	6,40	1-2	87	1600-1800	штампы, фильеры
СТИМ-3Б/3	(TiC– Cr <sub>2</sub> C <sub>3</sub> )+Ni	5,37	3-4	92,5	800-1000	режущие пластины
СТИМ-3В	(TiC– Cr <sub>2</sub> C <sub>3</sub> ) + сталь	5,40	2-4	92,5	700-800	окалиностойкие изделия
СТИМ-4	TiB+Ti	4,20	1-2	86	700-800	термостойкие

						изделия
СТИМ-5	(TiC–TiN) +(Ni–Mo)	5,70	1-2	90	1000-1200	режущие пластины

#### 1.7.4 Технологический тип СВС – Металлургия

Этот тип СВС основан на горении высококалорийных смесей окислов металлов с восстановителем (Al, Mg, Ti и другие) и неметаллами (C, B, Si, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> и другие). Температура горения таких смесей превышает температуру плавления исходных, конечных и промежуточных компонентов и достигает 3000-4500°С.

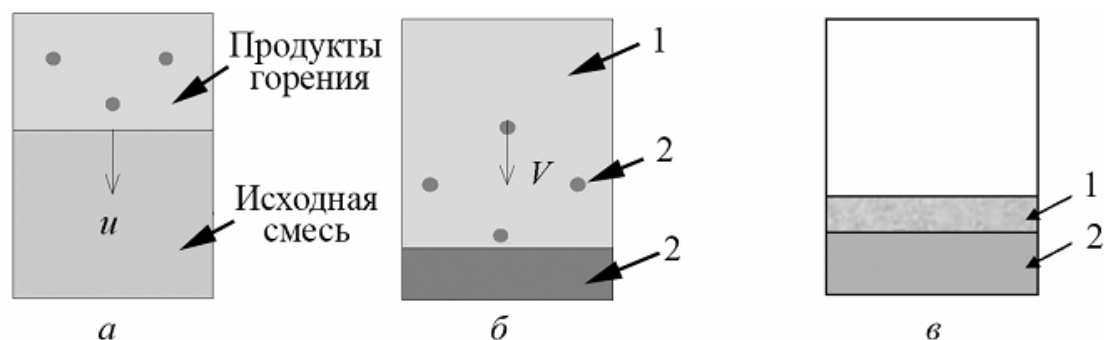


Рисунок 8 – Основные стадии СВС – металлургии

а- горение и химическое превращение; б- гравитационное фазоотделение; в- остывание и формирование кристаллической структуры; 1- оксидная фаза; 2- металлическая фаза

Процесс СВС-металлургии протекает поэтапно. Можно выделить три основные последовательные стадии, показанные на рисунке 8. На первом этапе происходит сгорание, продуктом которого является двухфазный расплав. На втором этапе из-за разницы в плотностях разделение (разделение фаз) металлической и оксидной фаз обусловлено действием силы тяжести. На третьем этапе продукты сгорания охлаждаются и кристаллизуются.

Это единственная реальная возможность получать расплавы высокотемпературных композиций для образования продуктов данной формы без затрат на электроэнергию только из-за внутреннего тепла реагирующих сред.

Оборудование для SHS-литья:

- Оригинальные SHS-реакторы;
- Поверхностные камеры;
- СВС - центрифуги различных конструкций;
- Встраиваемые автоматические линии для нанесения износостойких покрытий.

Во время сжигания смесей оксидов металлов с восстановителем и неметаллами исходная смесь химически конвертируется, образуется двухфазный высокотемпературный расплав продуктов сгорания, который состоит из фазы металла (карбида, бориды или силицида) и восстановительный оксид металла.

При жидкофазном состоянии продуктов синтеза после сгорания можно решить три класса практических задач:

- 1) получение слитков огнеупорных неорганических материалов;
- 2) образование продуктов различной структуры и формы;
- 3) нанесение защитных покрытий на поверхность изделий.

Карбиды, бориды, силициды, интерметаллиды, твердые сплавы, металлокерамики, градиентные плиты, трубопроводы и другие изделия успешно применяются в качестве:

- износостойкие покрытия на частях сельскохозяйственных, землеройных и буровых машин;
- Подробная информация о металлургическом оборудовании для литья стали и сплавов;
- Трубопроводы для агрессивных сред;
- Абразивный инструмент.

Я получаю износостойкие покрытия методом плазменного, термического, газодетонационного распыления и дуговой сварки. Для плазменного напыления используются порошки с дисперсией 40-80 мкм и для сварки до 300 мкм. Дробление литых материалов SHS проходит в два этапа.

На первом этапе слитки проходят через щековые дробилки и образуются крупные гранулы, а на второй стадии гранулы измельчаются при установке на шаровые мельницы с последующей классификацией. Покрытия обладают высоким уровнем свойств и могут значительно увеличить срок службы деталей, работающих в условиях интенсивного истирания.

Таблица 3. Результаты промышленных испытаний изделий с СВС – наплавками

Наименование изделия	Состав литого СВС - покрытия	Промышленный аналог	Повышение ресурса, %
лопатка смесителя	Ti–Cr–Ni–Mo	Сталь Г35Л	2000
долото	Ti–Cr–C–Fe	Сормайт	200-500
лемех предплужника	Ti–Cr–C–Fe	Сормайт	270
полевая доска	Ti–Cr–C–Fe	Сормайт	240-280
запорный клапан криогенной установки	Ti–Cr–C–Ni	Сталь 40Х	300

Таблица 4. Характеристики газотермических покрытий из литых СВС - порошков

Материал покрытия	Прочность сцепления $P \times 10^{-7}$ , Н/м <sup>2</sup>	Пористость, %	Микротвердость $H \times 10^{-7}$ , Н/м <sup>2</sup>	Толщина покрытия, мкм
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> –Ni	1,5	8-10	1500	350
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> –Ni–Al	5,6	5-10	2500	-



### **1.7.5 Технологический тип СВС – сварка**

Для этого процесса используется сварочный стержень из стали, покрытой СВС, - смесь (покрытие) с воспламеняющейся композицией, изображенной на рисунке 9. Сжигание покрытия создает расплавленную сталь, образующую сварной шов.

Основными преимуществами сварки с использованием стержней SHS являются: простота, эффективность, дешевизна, широкая область применения.

По технологии СВС-сварки можно получить постоянные стыки высокотемпературных материалов и деталей.

СВС - сварка необходима для создания структур, в которых требуется сочетание противоречивых свойств: термостойкость - прочность, износостойкость - прочность и т. д.

Область применения:

- Инструменты из твердых сплавов высокоскоростной и конструкционной стали
- Композитные катоды (вольфрам-молибден) мощных ламп
- Продукция ракетно-космической техники.

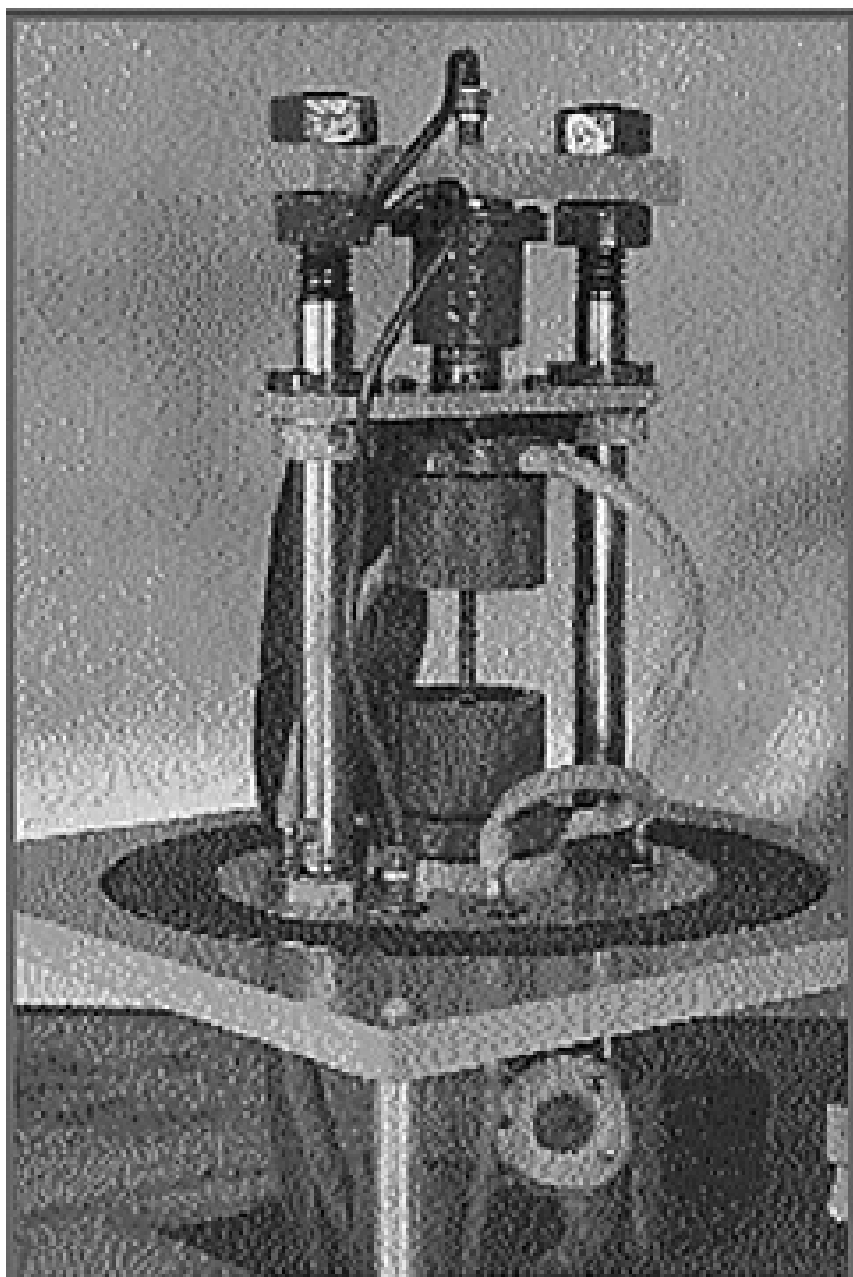


Рисунок 9 – Установка СВС – сварки.

#### **1.7.6 Технологический тип газотранспортная СВС – технология**

Современные технологии уделяют большое внимание тонким износостойким и коррозионно-стойким покрытиям. Технология позволяет решать эти проблемы путем сжигания специально подобранных порошковых смесей, осуществляющих передачу целевого продукта (нитрида, борида, силицида и т. Д.) Через газовую фазу на поверхности детали, покрывая, таким образом, тонкие покрытия 5- 150 мкм.

В настоящее время реализованы два метода покрытия в режиме горения: реактор и открытый.

В реакторе детали помещают в реактор, заполняют зарядом и зажигают. После прохождения через фронт горения и охлаждения реактора детали с покрытием удаляются. Реактор состоит из цилиндрической вертикальной трубы с отверстием внизу для подачи инертного газа. Для предотвращения окисления покрытия необходима инертная среда.

Открытый метод использует системы, которые не требуют инертной среды и могут поставляться в воздухе. К ним относятся, прежде всего, алюмотермическая и мадьярская системы.

При применении газовых SHS-покрытий используйте различные сырьевые материалы. Условно его можно разделить на три класса:

- Элементы в виде смеси металлов и металлов с неметаллическими (Ni-Al, Ti-Al, Ti-B, Zr-Si);
- оксидные системы ( $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3\text{-Al}$ );
- Руды и отходы производства.

Форма предметов, которые должны быть покрыты, обычно не имеет значения. Размеры и материал деталей более значительны. Особенностью покрытий является то, что, как правило, нет никакой проблемы с адгезией покрытия к подложке.

Эта технология обеспечивает образование сильных покрытий TiN, нитридов металлов IV-VI групп,  $\text{CrB}_2$ . Наиболее перспективными являются покрытия из хромированного борида. Они увеличивают износостойкость стальных подложек в 4-6 раз. Толщина этих покрытий составляет 30-60 мкм, а микротвердость составляет 21-25 ГПа. [17]

Таблица 5 - Покрытия СВС.

Изделие, на которое наносится покрытие	Материал изделия	Цель нанесения покрытия	Состав покрытия	Толщина покрытия, мкм	Степень роста эксплуат. свойств
Втулки кон-	Сталь 45	Повышение из-	Fe-Cr-B	60	6 – 8

дукторные		носостойкости			
Прессформа	Сталь ХВГ	-	Fe–Cr–B–Al	40	3 – 4
Твердый сплав	ВК – 6, ВК – 8	-	TiC, TiCN, TiN	12	3 – 3,5
Матрица горячего прессования	Графит	-	Cr–Ni–Al–Y	70	2 – 3

## **2 ЭКСПЕРИМЕНТ**

**Цель работы:** Получение образцов по технологии СВС на основе титана никеля углерода, без использования реактора.

### **План проведения эксперимента:**

- Подготовка сырья путем дробления и истирания материалов;
- Взвешивание материалов;
- Смешивание подготовленных материалов в мельнице;
- Помещение в тигли перемешанных материалов с дополнительной подпрессовкой;
- Расположение тиглей на металлическом основании, засыпка запальной смеси и инициирование смеси путем контакта электрода сварочного аппарата с металлическим основанием.

### **2.1 Способы получения порошков для СВС**

В качестве сырья для производства металлического порошка методом дробления (измельчения) используются отходы (черенки и стружка). Таким образом, можно получить порошок любого металла. Поэтому этот метод был использован для получения необходимых порошков (Ti, Ni).

Этот метод измельчения основан на ударе, сдвиге и абразивном воздействии шлифовальных тел, стенках шлифовальных устройств и непосредственно массы грунта. Метод дробления в основном используется для измельчения хрупких металлов и сплавов. Во время измельчения твердых тел возникают упругие и пластические деформации, во время которых появляются микротрещины, приводящие к разрушению тел. Хрупкие непластичные материалы и различные огнеупорные соединения могут быть легко измель-

чены. Гораздо труднее измельчить пластичные металлы, которые сплющиваются и склеиваются, а не разрушаются.

Общая схема получения порошков методом механического шлифования обычно основана на:

- Подготовка заряда (грубое измельчение), получение металлической стружки, подготовка разреза (небольшие куски проволоки);
- измельчение заряда в различных аппаратах (мельницах);
- Отжиг порошка в печи для удаления упрочнения.

Для грубого дробления используются молотки, щеки, роликовые и конусные дробилки, которые мало отличаются от дробилок, используемых в горнодобывающей промышленности. Размер частиц порошка, полученного после грубого измельчения, составляет от 1 до 10 мм.

### **2.1.1 Грубое дробление**

Для изначального измельчения металла, использовалась щековая дробилка ЩД 6, которая изображена на рисунке 10. Эта дробилка предназначена для дробления руд, полезных ископемых, шлаков и других материалов различной прочности.

Щековая дробилка ЩД-6 относится к оборудованию лабораторного класса, имеет небольшие габаритные размеры и вес. Щековая дробилка предназначена для дробления хрупких, сыпучих материалов различной прочности и твердости до 7 ед. по шкале Мооса (руда, камень, минералы, бетон, стекло, керамика и многие другие). Это машина среднего и мелкого дробления (минимальный размер материала после измельчения - 2-3 мм).

Щековая дробилка ЩД-6 применяется в различных отраслях промышленности, таких как: горнорудная, химическая, металлургическая, строительная, полимерная, производство строительных материалов, и многих других. Это дробилка со сложным качанием щеки, разрушение материала в которых происходит за счет раздавливания и истирания.

В состав дробилки входят:

- загрузочный бункер;
- корпус, основание и шатун;
- приемная емкость;
- электродвигатель.

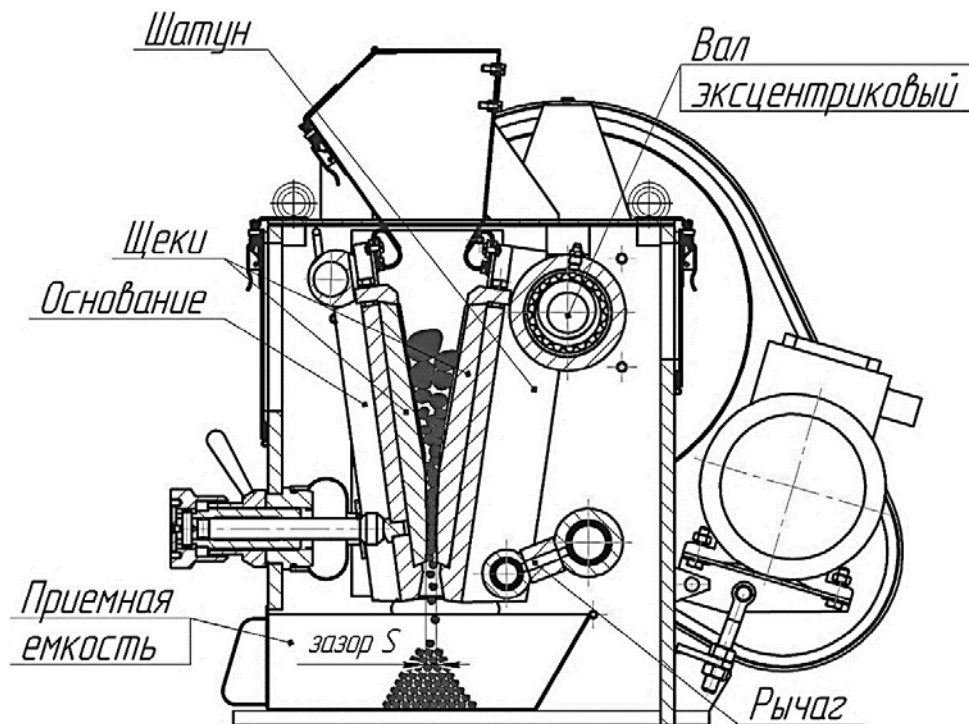


Рисунок 10 – Дробилка ЩД-6

Внутри корпуса располагаются две щеки: неподвижная, закрепленная на основании и подвижная - на шатуне. Основание подвешено на оси, а его положение в нижней части определяется регулировочным устройством. Винт регулировочного устройства упирается в основание через упор со срезным штифтом, предохраняющим дробилку от поломки при попадании не дробимого тела. Крутящий момент от электродвигателя передается через ременную передачу на эксцентриковый вал, на котором смонтирован шатун с подвижной щекой.

Таблица 6. Технические характеристики ЩД-6

Размеры загрузочного окна, мм	60x100
Размер кусков измельчаемого материала, мм	$\leq 50$
Диапазон регулировки выходной щели, мм	2 – 20
Производительность, кг/ч	$\leq 200$
Мощность эл/дв, кВт	1,1
Габаритные размеры, мм	650x330x580
Масса, кг	130
Напряжение питания, 50 Гц, В	380
Материал щек	чугун/марганцовистая сталь

#### Принцип работы:

Материал подается в бункер, откуда он попадает в рабочее пространство между щеками. Верхняя поверхность щеки ребристая, что позволяет увеличить удельное давление на частицы измельченного материала в зоне предварительного дробления. Нижние гладкие поверхности щек образуют параллельную зону - зону повторного шлифования, в которой получен продукт требуемого размера.

Когда эксцентриковый вал вращается, подвижная щека перемещается относительно неподвижной, обеспечивая дробление и разгрузку материала. Когда щеки подходят ближе, материал измельчается, когда подвижная щека удаляется в дробилку и разгружается. Дробящий продукт собирается во внешнем резервуаре, расположенном под зоной разгрузки. [19]

#### 2.1.2 Мелкое дробление

Для получения металлического порошка более мелкой фракции использовался истиратель ЛДИ 65. Он применяется для регулируемого истирания сухих лабораторных проб горных пород, руд, минералов и других мате-



риалов дисками из карбида кремния от 2 до 0,044мм с производительностью до 1.0 кг/ч.

В дисковом истирателе измельчение происходит за счет истирания – одновременной деформации сжатия и сдвига. Крупность измельченного продукта регулируется величиной зазора между дисками (щели).

В состав истирателя входят: загрузочная воронка, крышка, истирающие диски, корпус, приемная емкость и электродвигатель.

Рабочими органами истирателя являются два диска: подвижный, закрепленный на приводном валу и неподвижный - на крышке истирателя. Крышка крепится на корпусе, внутри которого расположена приемная емкость. Размер щели задается с помощью регулировочного устройства. Крутящий момент от электродвигателя на приводной вал передается через ременную передачу.

Принцип работы:

Измельченный материал подается в бункер, откуда он входит в рабочую зону между дисками через отверстие в центре неподвижного диска. В результате действия центробежных сил частицы материала измельчаются.

Предварительное измельчение материала происходит во внутренней конической зоне, после чего оно полностью измельчается между частями плоского тора дисков, образующих калибровочную зону. Размер частиц измельченного материала определяется расстоянием между дисками (размером щели).

Поток измельченных частиц, выходящих из щели, поступает в приемный контейнер. Во время работы движущиеся и неподвижные диски изнашиваются равномерно. При изменении направления вращения диска эффективность шлифования частиц материала не уменьшается. [20]

### 2.1.3 Окончательный размол

Для получения порошков с нужной для эксперимента фракцией 0,016мм был использован аппарат, который называется шаровая мельница.

Шаровая мельница, показанная на рисунке 10, представляет собой металлический цилиндрический барабан, внутри которого находятся крутящиеся лопасти.

Внутрь этого цилиндрического барабана загружаются стальные шары и измельчаемый материал. Барабан может вращаться с различной скоростью в зависимости от разных режимов работы.

При небольшой скорости вращения барабана происходит скольжение шаров по поверхности вращающегося барабана. В этом режиме материал истирается между внешней поверхностью массы шаров, которая ведёт себя как единое целое, и стенкой барабана. Эффективность размола при этом мала. Такой режим часто применяется при смешивании разнородных материалов.

При увеличении числа оборотов барабана шары поднимаются на некоторую высоту вместе с вращающейся стенкой барабана, вследствие трения шаров о стенку, и затем скатываются по наклонной поверхности массы шаров. Измельчение материала в этом случае происходит между поверхностями трущихся шаров. Интенсивность истирания материала увеличивается.

При ещё большем числе оборотов шары поднимаются на значительную высоту и падают вниз, производя дробящее действие, которое дополняет истирающее воздействие на материал. Это положение является наиболее интенсивным режимом размола.

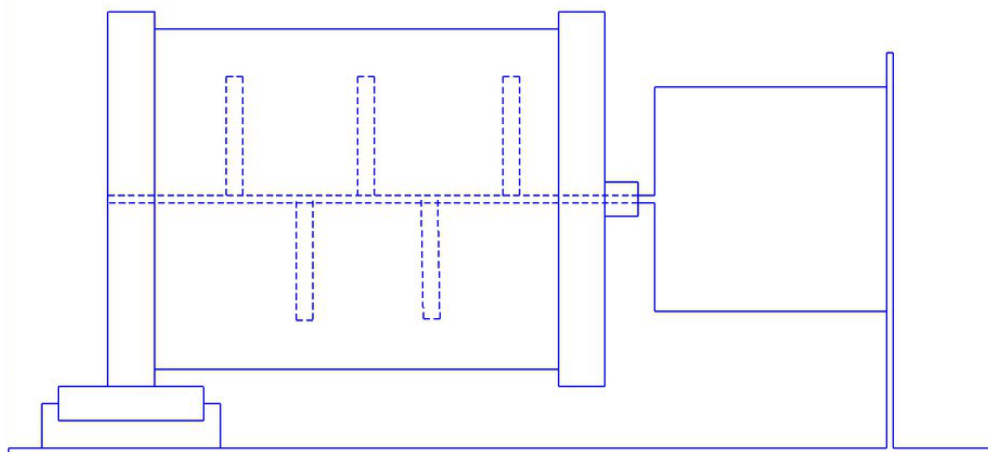


Рисунок 11 – Шаровая мельница

На процесс измельчения большое влияние оказывает общая масса металлических шаров. Оптимальным является 1,5 – 2,0 кг. размольных тел на 1 л. объёма барабана мельницы.

Количество загружаемого материала влияет на интенсивность измельчения и это количество должно быть таким, чтобы заполнить объём зазоров между металлическими шарами. Если материала будет больше, то часть его, не вошедшая в зазоры, будет измельчаться менее интенсивно, потому что эта часть не подвергается истирающему действию размольных тел (металлических шаров).

Кроме этого, уменьшается объём свободного пространства в барабане и затрудняется свободное падение размольных тел, что также влияет на снижение интенсивности измельчения. На практике соотношение между массой размольных тел и измельчаемого материала составляет 2,5 – 3. [21]

#### **2.1.4 Оборудование для взвешивания**

Для взвешивания порошков использовались весы электронные лабораторные ВК-300 «Масса-К»



Рисунок 12 – Весы лабораторные ВК-300.

Весы лабораторные ВК-300, показанные на рисунке 12, соответствуют II (высокому) классу точности по ГОСТ Р 53228-2008 «Весы неавтоматического действия». Эти весы работают в нескольких режимах взвешивания и могут использоваться для определения массы или количества различных веществ и материалов.

Область применения лабораторных весов ВК-300:

- научно-исследовательские лаборатории;
- научно-производственные лаборатории;
- химическая, пищевая промышленность.

Основные функции весов ВК-300:

- измерение в разных режимах взвешивания;
- подсчет суммарной массы товара;
- процентное взвешивание;
- счетный режим;
- интерфейс RS-232 для связи с PC; [22]

Таблица 7. Технические характеристики лабораторных весов ВК-300:

Наибольший предел взвешивания (НПВ), г	300
Минимальная нагрузка, г	0,1
Дискретность, г	0,005
Размер платформы, мм	Ø 120
Габаритные размеры весов, мм	180x220x85
Масса весов, кг	1,5
Диапазон рабочих температур	от +15°C до +30°C
Выборка массы тары	во всем диапазоне взвешивания

## 2.2 Химические реакции и их диаграммы состояния

### 2.2.1 Система Ti -C

Реакции данной системы, изображенной на рисунке 13, имеют вид:



$$T_{ad} = 2782^\circ\text{C} (\text{TiC})$$

В системе установлено образование одного соединения — карбида TiC(o) со структурой типа NaCl. TiC плавится конгруэнтно при  $3073 \pm 25^\circ\text{C}$  и содержание 44 % (ат.) C. Область гомогенности фазы  $\delta$  вблизи солидуса расположена от 32 до -50 % (ат.) C. При температуре  $1600^\circ\text{C}$ , граница области гомогенности фазы  $\delta$  со стороны Ti проходит через состав сплавов с 30 % (ат.) C; при  $700^\circ\text{C}$  через состав с 37 % (ат.) C (определено по концентрационной зависимости параметра решетки карбида TiC после длительного отжига и закалки). Со стороны C, положение границы фазы  $\delta$  точно не установлено. Содержание C в карбиде возрастает с повышением температуры и соответствует при  $1950^\circ\text{C}$  составу  $\text{TiC}_{0.95}$ , при  $2750^\circ\text{C}$  —  $\text{TiC}_{0.95}$ , при температуре эвтектического превращения  $\text{Ж} = \delta + \text{C}$ , равной  $2782^\circ\text{C}$ , —  $\text{TiC}_{0.988}$ . В эвтектике при температуре  $2782^\circ\text{C}$  содержится  $63 \pm 1$  % (ат.) C. Углерод понижает температуру плавления Ti от  $1663$  до  $1653 \pm 7^\circ\text{C}$  — температуры эвтектической кристаллизации  $\text{Ж} \leftrightarrow \beta \text{Ti} + \text{TiC} (\text{в})$ ; в эвтектике содержится 1,5

% (ат.) С. Растворимость С в Тi при 18 эвтектической температуре составляет 0,55 % (ат.). Углерод повышает температуру  $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения Тi от 882 °С — температуры перитектоидной реакции образования  $\alpha$ -Тi. Растворимость С в Тi при температуре 920 °С составляет 0,5 % (ат.) и в  $\alpha$  Тi — 2 % (ат.). Растворимость С в  $\alpha$ -Тi и  $\beta$ -Тi может быть представлена зависимостями:  $\lg \chi = 1,74 - 1800/T$  в интервале температур 600— 900 °С и  $\lg \chi = 1,4 - 2100/T$  в интервале температур 920—1645 °С, соответственно, где  $\chi$  — С, % (ат.);  $T$  — температура, К. При температуре ниже 1000°С наблюдается упорядочение в углеродной подрешетке ( $\delta \leftrightarrow \delta'$ -превращение). [23]

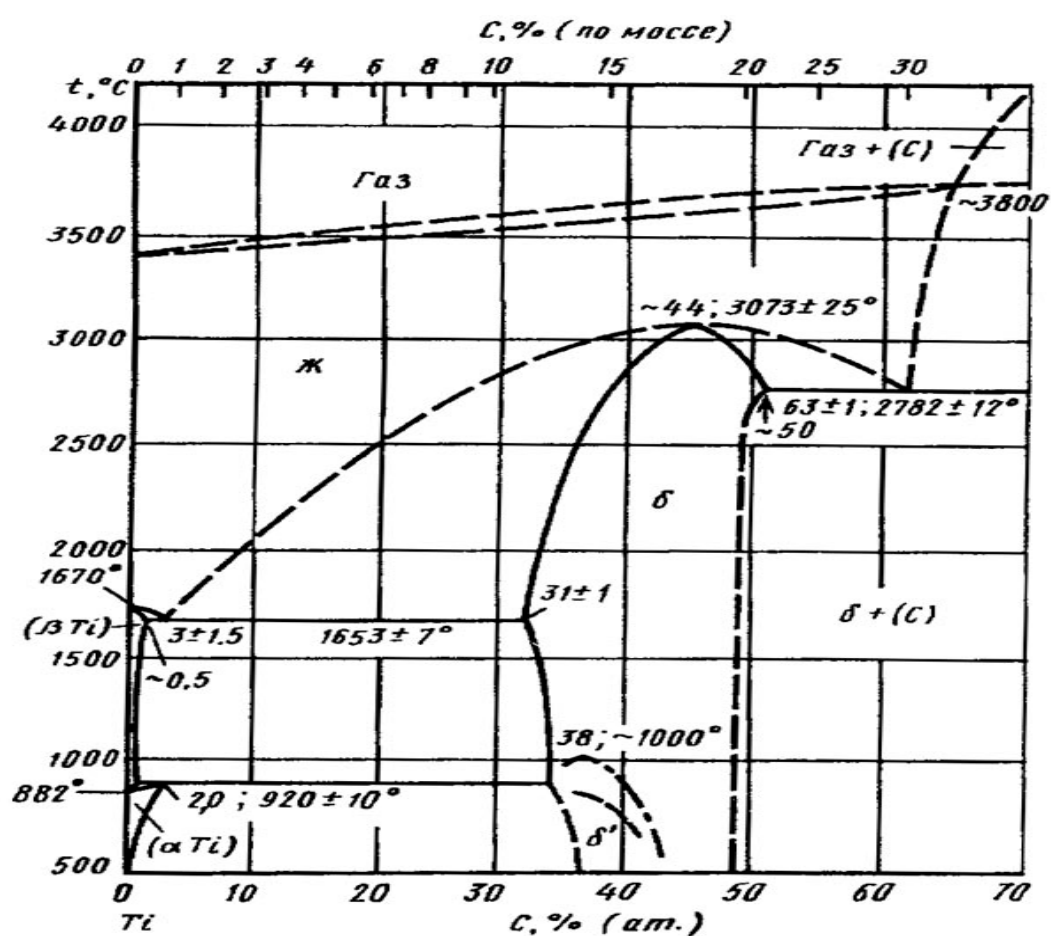
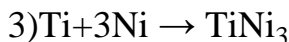
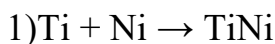


Рисунок 13 – Диаграмма состояния системы Ti -C

### 2.2.1 Система Ti -Ni

Реакции данной системы, изображенной на рисунке 14, имеют вид:



$$T_{ad} = 1287^\circ\text{C} (\text{TiNi})$$

С никелем титан образует соединения состава  $\text{Ti}_2\text{Ni}$ ,  $\text{TiNi}$  и  $\text{TiNi}_3$ . Соединение  $\text{Ti}_2\text{Ni}$  кристаллизуется в кубической сингонии (гранецентрированная решетка, 96 атомов в элементарной ячейке,  $a = 11,29$  нм). При  $1015^\circ\text{C}$  incongruently плавится с выделением кристаллов соединения  $\text{TiNi}$ , которое кристаллизуется в кубической сингонии (объемноцентрированная решетка типа CsCl, 2 атома в элементарной ячейке,  $a = 298,0$  нм). При  $1240^\circ\text{C}$  congruently плавится с разложением. Соединение  $\text{TiNi}_3$  кристаллизуется в гексагональной сингонии (16 атомов в элементарной ячейке,  $a = 510$  и  $c = 830$  нм). При  $1378^\circ\text{C}$   $\text{TiNi}_3$  congruently плавится с частичным разложением.

Диаграмма состояния этой системы представлена на рисунке 11. Линии ликвидуса и солидуса проходят через три эвтектические точки, соответствующие: первая—24 атомн.% Ni и  $955^\circ\text{C}$ ; вторая —60 атомн.% Ni и  $1110^\circ\text{C}$  и третья —81 атомн.% Ni и  $1287^\circ\text{C}$ . Между этими эвтектическими точками кривая ликвидуса проходит через перитектическую точку, соответствующую 33 атомн.% Ni и  $1015^\circ\text{C}$ , и два дистектических максимума, соответствующих: первый — 50 атомн.% Ni, т. е. соединению  $\text{TiNi}$ , и  $1240^\circ\text{C}$  и второй—75 атомн.% Ni, т. е. соединению  $\text{TiNi}_3$ , и  $1378^\circ\text{C}$ . Следовательно, в системе образуется три соединения:  $\text{Ti}_2\text{Ni}$ , плавящееся incongruently, и  $\text{TiNi}$  и  $\text{TiNi}_3$ , плавящиеся congruently. Никель понижает температуру полиморфного превращения титана до  $770^\circ\text{C}$  при содержании 4 атомн.% (эвтектоидная точка). Растворимость никеля (в виде  $\text{Ti}_2\text{Ni}$ ) в  $\alpha$ -титане при эвтектоидной температуре составляет не больше 0,1 атомн.%; в  $\beta$ -титане растворимость никеля достигает максимального значения (11 атомн.%) при эвтектической температуре  $955^\circ\text{C}$ , [23]

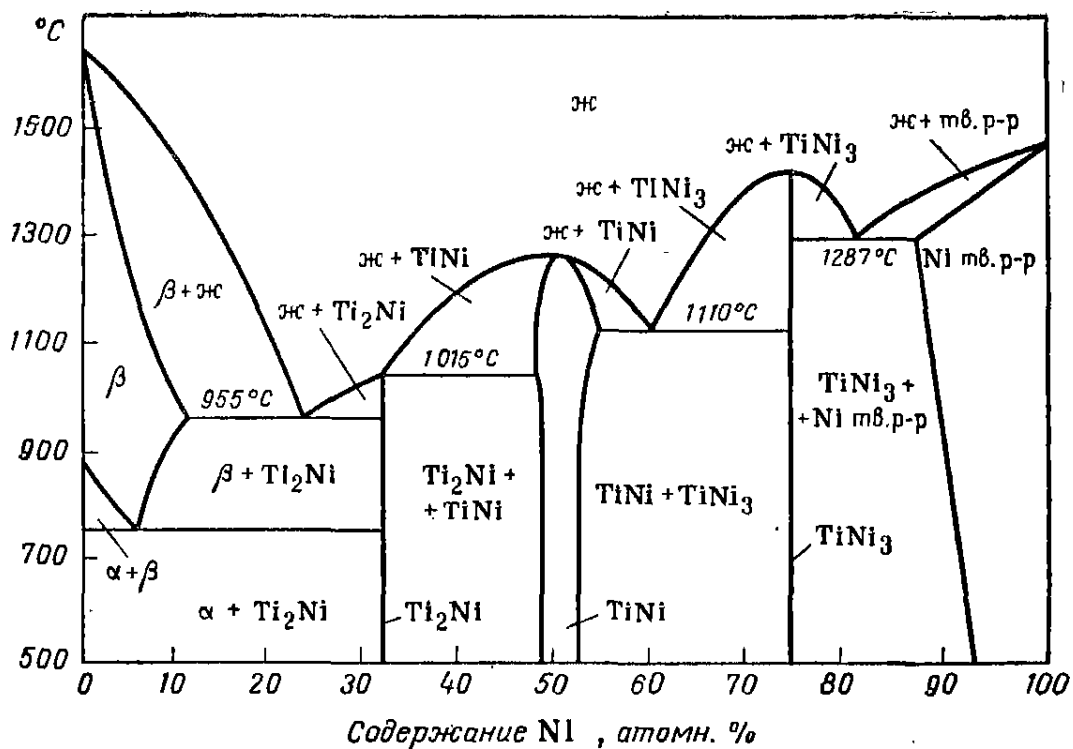


Рисунок 14 – Диаграмма состояния системы Ti -Ni

## 2.3 Оборудование и материалы

- Керамический тигель ( $V = 7\text{см}^3$ );
- Бумажная форма ( $V = 31\text{см}^3$ );
- Шаровая мельница;
- Металлические порошки (Ti, Ni);
- Технический углерод (Сажа);
- Запальная смесь (Al + Mn);
- Весы электронные лабораторные ВК-300 «Масса-К».

### 2.3.1 Ход эксперимента

Для эксперимента использовались смеси металлических порошков титана и никеля с мелкой фракцией (0,016мм) и технически углерод в виде сажи.



Далее исходя из диаграмм состояния были выведены и уравнены реакции этих систем. После рассчитаны массы реакций исходя из их молярной массы. Для расчета и экономии материалов было принято 25% от 1 моля.

Методика расчета

1. Для реакций:

1)  $\text{TiC} + \text{TiNi}$ , 2)  $\text{TiC} + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , 3)  $\text{TiC} + \text{TiNi}_3$ , 4)  $\text{TiC}_2 + \text{TiNi}$ , 5)  $\text{TiC}_2 + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , 6)  $\text{TiC}_2 + \text{TiNi}_3$ , было взято 25% от 1 моли каждого элемента;

2. Получившаяся молярная масса, была умножена на стехиометрический коэффициент, рассчитанный для каждого элемента.

3. Для каждого элемента реакций была получена масса для дальнейшего взвешивания.

Взвешивание проводилось на весах ВК-300 «Масса-К». Весы лабораторные ВК-300 соответствуют II (высокому) классу точности по ГОСТ Р 53228-2008 «Весы неавтоматического действия».

Следующим шагом было смешивание и размол материалов в шаровой мельнице, для каждой реакции процесс длился 20 минут.

После смеси загружались в бумажные формы ( $31\text{см}^3$ ) и керамические тигли ( $V = 7\text{см}^3$ ) для проведения СВС – реакции в процентном соотношении, указанном в таблице, и подпрессовывались.

Формы с смесью располагались на металлическом основании и утеплялись асбестом со всех сторон, во избежание теплопотерь, а к их краям засыпалась запальная смесь. Запальная смесь необходима для инициирования экзотермической реакции. От тепла сгорающей запальной смеси начинается экзотермический процесс сначала близлежащего слоя шихты, а от нее воспламеняются последующие слои шихты.

В качестве запальной смеси, изображенной на рисунке 15, использовалась смесь перманганата калия (марганцовка) и алюминия (две части алюминиевой пудры к одной части алюминиевой стружки) в соотношении 7:3.



Рисунок 15 – Запальная смесь Al+Mn.

Инициирование смеси производилось контактом электрода сварочного аппарата с металлическим основанием. Смесь загоралась и инициировала образцы.

Первые 6 реакции, проводились в бумажных формах, показанных на рисунке 16, объёмом (31см<sup>3</sup>).



Рисунок 16 – Бумажная форма.

Таблица 8. Исходные составы экспериментальных смесей порошков, проводимых в бумажных формах.

№ опыта	Титан, %	Углерод, %	Никель, %
1	58	7	35
2	67	5,6	28
3	34	4	62
4	54	13	33
5	63	11	26
6	32	8	60

Остальные 24 реакций проводились в керамических тиглях, показанных на рисунке 17, ( $V = 7 \text{ см}^3$ ) в связи с тем, что бумажные формы не обеспечили нужные условия протекания СВС-процесса, и образцы получились с высокой пористостью.

В керамических тиглях эксперимент состоял из 4 серий, а за основу были взяты составы исходных смесей 1,2,3,4,5,6.



Рисунок 17 – Керамические тигли.

Таблица 9. Исходные составы экспериментальных смесей порошков, проводимых в керамических формах.

№ опыта	порошок титана, %	углерод, %	никель, %
1	58	7	35
2	67	5,6	28
3	34	4	62
4	54	13	33
5	63	11	26
6	32	8	60

Полученные образцы были извлечены из форм, тиглей и проанализированы.

На рисунке 18 представлены образцы 1,2,4,5,6 которые были получены в бумажных формах. Образец 3 не удалось получить в бумажной форме, поэтому он представлен извлеченным из керамического тигля. Образцы, получившиеся в бумажных формах довольно прочные, но с высокой пористостью. Образец 3 прочный и имеет малую пористость.



Рисунок 18 – Образцы 1,2,3,4,5,6.

Для наглядности структуры были сделаны шлифы самого лучшего образца 5 и самого неудачного образца 6, из полученных в бумажной форме, они представлены на рисунке 19 и рисунке 20. Под номером 5 наиболее прочный и износостойкий, а образец 6 рассыпается от небольших усилий.



Рисунок 19 – Образец 5.

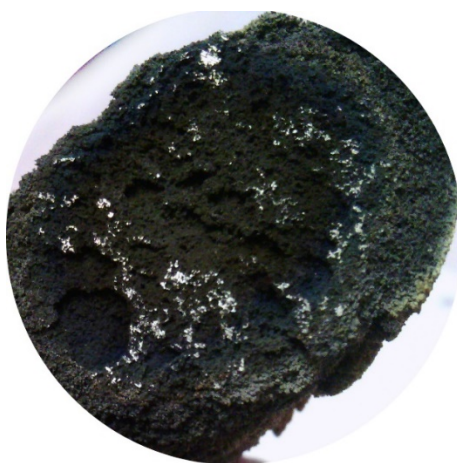


Рисунок 20 – Образец 6.

Далее на рисунке 21, рисунке 22, рисунке 23, рисунке 24 представлены образцы 1,2,3,4,5,6 которые были получены в керамических тиглях. СВС реакции данных образцов повторялась 4 раза. Данные образцы очень прочные имеют малую пористость хорошие показатели износостойкости. Из всех полученных образцов были выбраны лучшие и сделаны их шлифы, представленные на рисунке 25.



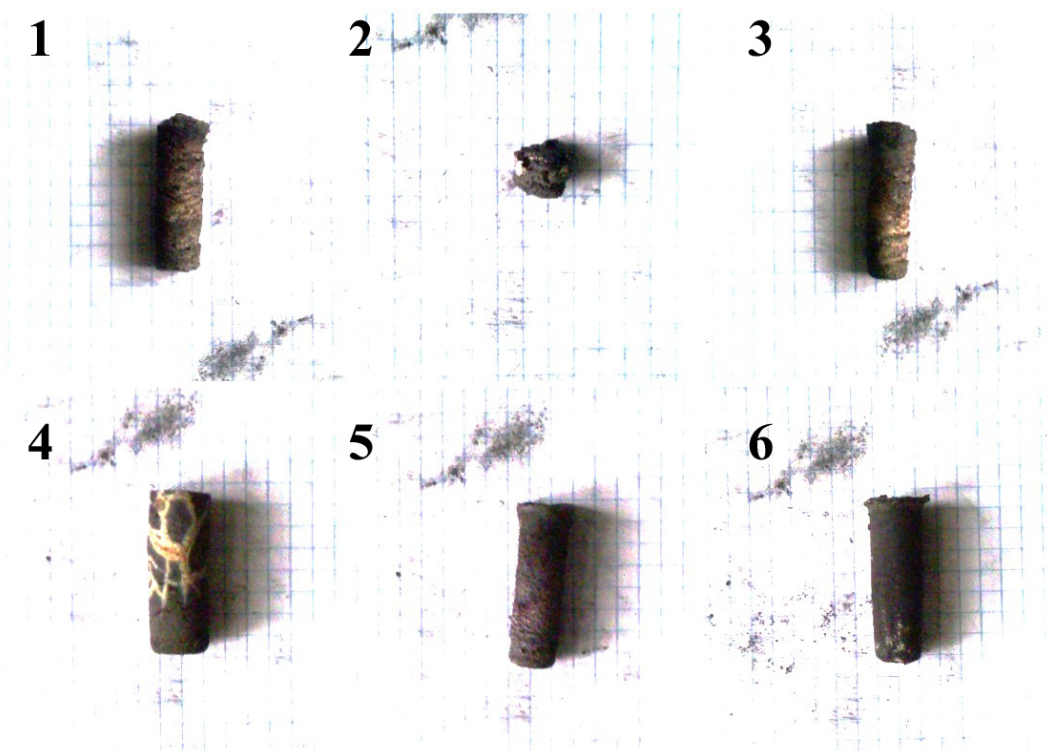


Рисунок 21 – Первая серия образцов 1,2,3,4,5,6.

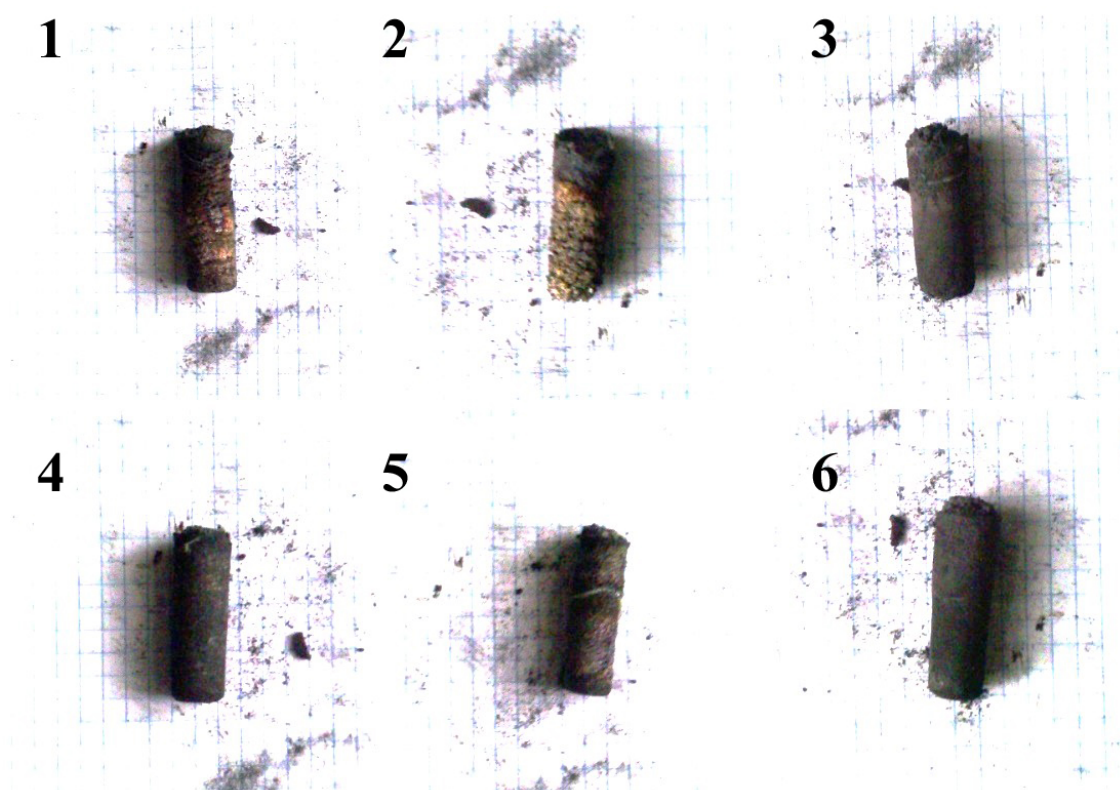


Рисунок 22 – Вторая серия образцов 1,2,3,4,5,6.

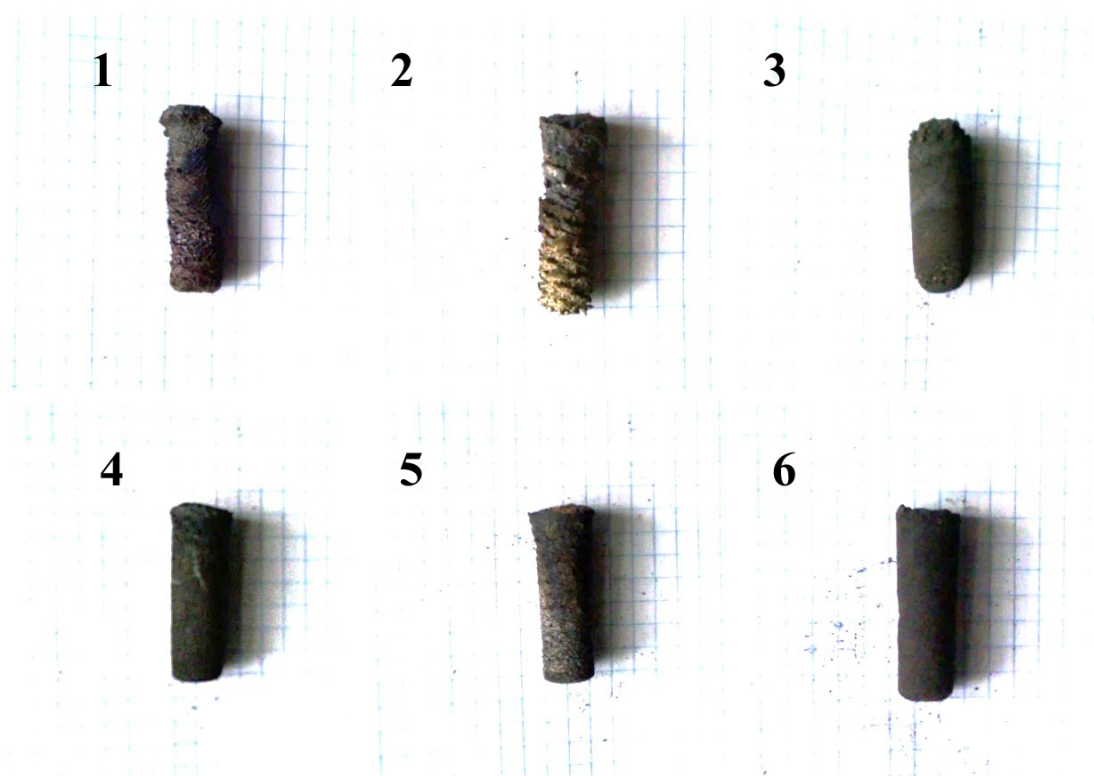


Рисунок 23 – Третья серия образцов 1,2,3,4,5,6.

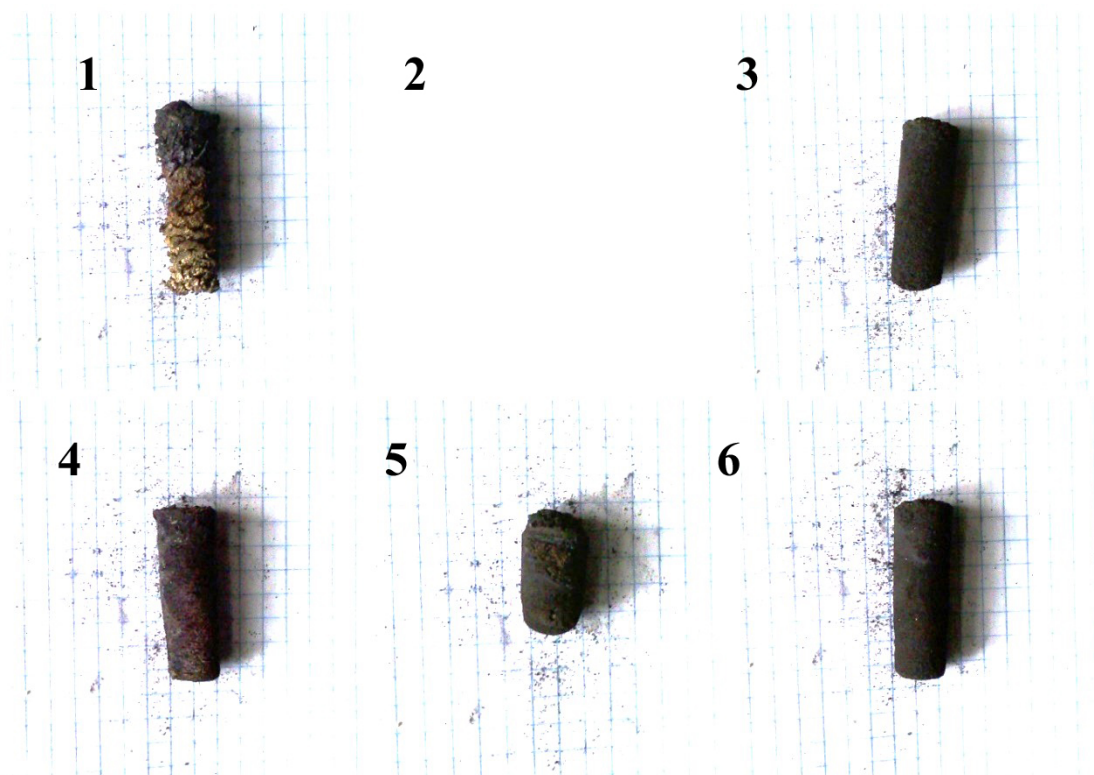


Рисунок 24 – Четвертая серия образцов 1,2,3,4,5,6.



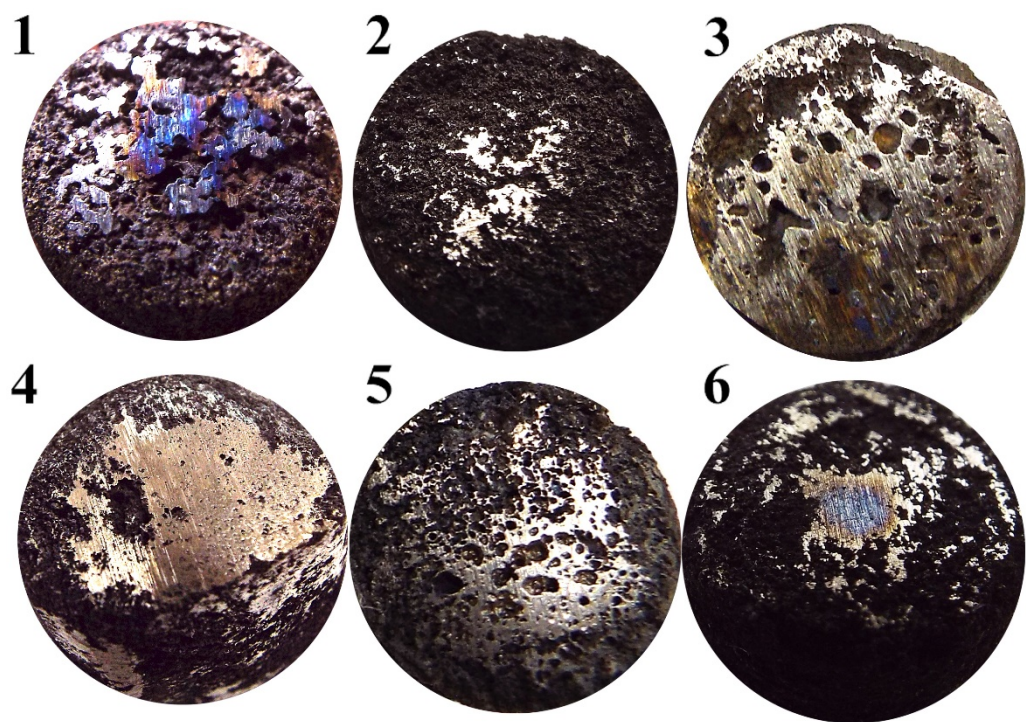


Рисунок 25 – Шлифы образцов 1,2,3,4,5,6.

Наиболее высокие характеристики прочности, износостойкости и низкой пористости выявлены у образца 4. Также образцы 3 и 1 имеют схожие показатели. Образцы 6 и 5 имеют средние показатели.

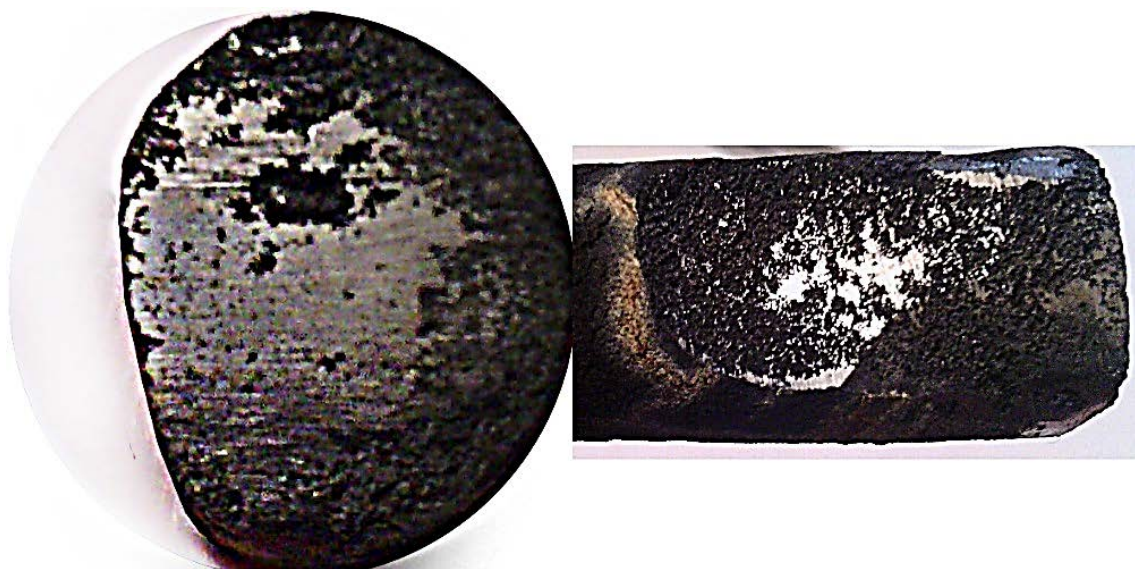


Рисунок 25 – Фото шлифов образца 4.



Самым неудачным получился образец 2 имея низкую прочность высокую пористость, также в двух сериях экспериментов данный состав не инициировал.



Рисунок 26 – Фото шлифа образца 2.

### 2.3.2 Результаты эксперимента

В ходе эксперимента, были получены образцы в бумажных и керамических формах. Образец 3 соответствующий реакции  $\text{TiC} + \text{TiNi}_3$ , с исходным составом Ti 34%, C 4%, Ni 62%, не удалось получить в бумажной форме. Образцы, получившиеся в бумажных формах довольно прочные, но с очень высокой пористостью. Самый лучший образец 5 соответствующий реакции  $\text{TiC}_2 + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , с исходным составом Ti 63%, C 11%, Ni 26%. Самым неудачным оказался образец 6 соответствующий реакции  $\text{TiC}_2 + \text{TiNi}_3$ , с исходным составом Ti 32%, C 8%, Ni 60%. Далее эксперимент проводился в керамических тиглях, из-за сильной пористости образцов, полученных в бумажных формах. Также образцы 1,2,3,4,5,6, были получены в керамических тиглях. Было проведено четыре серии данных СВС реакции. Данные образцы очень прочные

имеют малую пористость хорошие показатели износостойкости. Из всех полученных образцов были выбраны лучшие и сделаны их шлифы.

Наиболее высокие характеристики прочности, износостойкости и низкой пористости выявлены у образца 4 соответствующему реакции  $\text{TiC}_2 + \text{Ti-Ni}$  с исходным составом Ti 54%, C 13%, Ni 33%. Также образец 3, соответствующий реакции  $\text{TiC} + \text{TiNi}_3$ , с исходным составом Ti 34%, C 4%, Ni 62%, и образец 1 соответствующему реакции  $\text{TiC} + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , с исходным составом Ti 58%, C 7%, Ni 35%, имеют схожие показатели. В двух сериях эксперимента не получился образец 2, соответствующий реакции  $\text{TiC} + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , с исходным составом Ti 67% C 5,6%, Ni 28%, данный состав самый худший из всех. Образец 6 соответствующий реакции  $\text{TiC}_2 + \text{TiNi}_3$ , с исходным составом Ti 32 %, C 8%, Ni 60% и образец 5 соответствующий реакции  $\text{TiC}_2 + \text{Ti}_2\text{Ni}$ , с исходным составом Ti 63%, C 11%, Ni 26%, имеют средние показатели.

Образцы, в которых преобладал титан спеклись хуже из-за того, что температура кипения в них была значительно больше температуры горения, а в самом лучшем образце температура кипения была незначительно больше температуры горения. При данных условиях продукт спекается, но сохраняет пористость. Важный фактор, влияющий на структуру продукта, газовыделение. В таком режиме можно получать пористые материалы с невысокой прочностью. Для получения беспористых изделий необходимо осуществлять сжатие продукта горения (горячее прессование).

В связи с этим разработана методика для дальнейшего проведения лабораторной работы для студентов 3 курса РГППУ специальности «Технологии и менеджмент в металлургических производствах» по предмету «Специальные виды литья».

### **3 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ГОРЯЧЕЕ ПРЕССОВАНИЕ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Цель работы:** Приобретение навыков изготовления изделий методом горячего прессования.

**Оборудование и материалы:** пресс горячего прессования, прессформа, микрометр, штангенциркуль, порошки

#### **Краткие теоретические сведения**

Горячее прессование состоит из операции прессования и спекания. Обычно температура горячего прессования составляет  $(0.5...0.8) T_{пл}$  и зависит от характера порошков. Благодаря термоуплотнению при горячем прессовании происходит более интенсивное, чем при раздельном прессовании, в результате чего выдержка при горячем прессовании значительно меньше по времени, спецификации, а конечная плотность образцов близка к теории. Уплотнение при горячем прессовании обусловлено процессами текучести материала, силы внешнего давления суммируются с капиллярным давлением.

При горячем прессовании в качестве материала пресс-форм используются жаропрочные сплавы на никелевой основе, твердые сплавы, графит. Горячее прессование осуществляется в защитной среде (восстановительной или инертной), в вакууме, на воздухе. Метод горячего прессования успешно применяется для получения крупногабаритных изделий из трудно-прессующихся и плохих порошковых материалов - твердых огнеупорных соединений (карбидов, боридов, нитридов и др.).

## Оборудование и методика

Работа проводится на прессе горячего прессования, схема которого приведена на рисунке 1. Порошок помещают в прессформу, устанавливают ее на плиту нижнего контакта. Прессформу с порошком нагревают прямым пропусканием через нее электрического тока. Давление создают грузом, подвешенным к тарированному рычагу, передающему усилие на верхний пуансон. Для уменьшения потерь тепла излучением прессформа защищена изолирующим графитовым экраном с отверстием для измерения температуры.

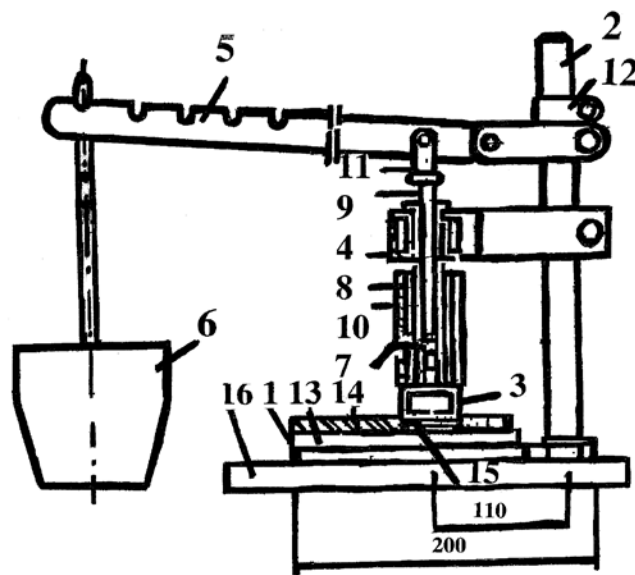


Рисунок 1 - Схема пресса горячего прессования:

1 – плита; 2 – стойка; 3 – нижний контакт; 4 – верхний контакт; 5 – рычаг; 6 – груз; 7 – прессуемый порошок; 8 – прессформа; 9 – пуансон; 10 – экран; 11 – упор; 12 – ограничитель; 13 – изоляционная прокладка; 14 – теплоизоляция; 15 – токоподводящие шины; 16 – стол

Ток к прессформе подводится токоподводящими шинами от понижающего трансформатора и регулируется автотрансформатором или реостатом. Максимальная рабочая температура 2500...3000 °С.

## **Порядок проведения работы и указания по охране труда**

Работу выполняют с порошками карбидов титана и никеля, боридов титана и никеля (по указанию преподавателя) по одному из следующих вариантов (по указанию преподавателя).

### **Вариант 1.** Исследование влияния температуры прессования.

Прессуется по два образца из тугоплавкого соединения при температурах 2000, 2200, 2400 °С с выдержкой 5 мин при давлении 10 МПа (100 кг/см<sup>2</sup>).

### **Вариант 2.** Исследование влияния давления прессования.

Прессуется по два образца из тугоплавкого соединения при температуре 2400°С в течение 5 мин при давлениях 4...20 МПа (40, 80, 160, 200 кг/см<sup>2</sup>).

Рассчитывают навеску из условия получения образца высотой, равной половине диаметра. Прессование проводят в графитовой прессформе прямым нагревом. Температуру замеряют оптическим пирометром. После охлаждения прессформы из нее извлекают образец, очищают от графита, взвешивают на весах, обмеряют микрометром, определяют плотность гидростатическим взвешиванием, твердость, вычисляют пористость.

## **Правила безопасности**

1. Работа проводится под наблюдением учебного мастера.
2. Перед нагревом следует включить воду для охлаждения токоподводов.
3. Запрещается касаться токоподводящих шин, верхнего и нижнего контактов во время прессования.
4. После отключения электрического тока нельзя брать горячую прессформу, следует ожидать ее полного охлаждения.

5. Осторожно обращаться с грузами, не допуская их падения с рычага пресса.

6. При аварийной ситуации необходимо отключить ток, осторожно снять груз с рычага и после охлаждения снять прессформу.

### **Обработка результатов эксперимента**

1. Полученные экспериментальные данные записать в таблицу «температура, давление горячего прессования – свойства».

2. Построить графики зависимости плотности, пористости, твердости от режимов горячего прессования.

### **Требования к отчету по работе**

Отчет по работе должен содержать:

- характеристику исходных материалов;
- условия и результаты опытов с учетом индивидуального задания;
- краткое описание основ горячего прессования;
- точность измерения параметров процесса;
- формулы, используемые для расчета навесок;
- свойства спрессованных материалов;
- таблицу результатов опытов.

### **Литература**

1. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии. Т. 2. М.: МИСиС, 2002. С. 319.

## **Контрольные вопросы**

Для проверки готовности к проведению работы

1. Определить сущность процесса горячего прессования.
2. Как влияют условия горячего прессования на плотность спрессованных изделий?
3. Каковы преимущества метода горячего прессования материалов, спекание которых происходит в присутствии жидкой фазы?
4. Как выбирают температуру горячего прессования материалов, спекание которых происходит в твердой фазе?
5. Как выбирают температуру горячего прессования материалов, спекание которых происходит в присутствии жидкой фазы?

## **Вопросы к защите работы**

6. Каков механизм процесса горячего прессования?
7. От каких факторов зависит скорость уплотнения при горячем прессовании?
8. Каковы отличия процессов спекания и горячего прессования?
9. Каковы недостатки способа горячего прессования?
10. Каковы особенности горячего изостатического, динамического прессования?
11. Каковы меры защиты от окисления прессуемого материала?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной дипломной работе был изучен процесс самовоспламеняющихся смесей на основе титана-никеля-углерода. В ходе эксперимента были получены образцы по технологии СВС на основе титана-никеля-углерода, без использования реактора. А также был определен оптимальный состав компонентов, для дальнейших исследований и разработок.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Мержанов А.Г. От академической идеи до промышленного производств» [Электронный ресурс]. – Режим па: <http://pandia.ru/text/80/226/56485.php> – (Дата обращения: 17.05.2018).
2. «О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Заглавие с экрана. <http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm> – (Дата обращения: 14.05.2018).
3. Амосов, А. П. Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. — Москва, 2007.— 13с.
4. Мержанов. А.Г. «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Современные проблемы». Физическая химия. М. «Химия» 1983 г.-23с.3
5. «Получение металлических порошков» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1926-poluchenie-metal licheskih-poroshkov.html](http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1926-poluchenie-metal-licheskih-poroshkov.html) – (Дата обращения: 17.05.2018).
6. Мержанов А.Г. Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса. Черноголовка, «Территория», 2003, 368 стр.
7. Тарасов В. В., Малышко С. Б. Материаловедение: Учебное пособие. Владивосток: Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 2008.
8. «Евстегнеев В.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2005\\_04\\_1/pdf/021Evstigneev.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2005_04_1/pdf/021Evstigneev.pdf) - (дата обращения 20.05.2018)
9. А.П.Амосов, И.П. Боровинская , А.Г. Мержанов, «Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов». Москва: Машиностроение – 1, 2007. - 471 с.

10. «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез инструментальной стали» [Электронный ресурс].- Режим па: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin\\_TPU/2008/v313/i3/22.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2008/v313/i3/22.pdf) -(дата обращения 20.05.2018)

11. «Твердый огонь СВС», Литературная газета, выпуск 19, 2003.» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [www.lgz.ru](http://www.lgz.ru) - (дата обращения 20.05.2018)

12. «Автоматизация и управление вакуумным оборудованием» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/SHARED/g/GONCHARENKO/cours/materials/Tab2/мод3.pdf> – (дата обращения 19.05.2018)

13. «СВС наноматериалов» [Электронный ресурс].- Режим па: [http://www.uspkhim.ru/php/getFT.phtml?jrnid=rc&paperid=837&year\\_id=2004](http://www.uspkhim.ru/php/getFT.phtml?jrnid=rc&paperid=837&year_id=2004) – (дата обращения 20.05.2018)

14. «О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm> – (дата обращения 19.05.2018)

15. «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез» [Электронный ресурс].- Режим па: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3957.html> – (дата обращения 19.05.2018)

16. «Технология СВС» [Электронный ресурс].- Режим па: [http://studbooks.net/2294712/matematika\\_himiya\\_fizika/osnovnye\\_harakteristiki](http://studbooks.net/2294712/matematika_himiya_fizika/osnovnye_harakteristiki) – (дата обращения 21.05.2018)

17. «Создание нового вяжущего материала методом СВС» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://repository.ineu.edu.kz/library/magpdf/2013\\_6m072000\\_omarova\\_a\\_z.pdf](http://repository.ineu.edu.kz/library/magpdf/2013_6m072000_omarova_a_z.pdf) – (дата обращения 21.05.2018)

18. «Специализированное СВС оборудование» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://studbooks.net/2294716/matematika\\_himiya\\_fizika/spetsializirovannoe\\_oborudovanie](http://studbooks.net/2294716/matematika_himiya_fizika/spetsializirovannoe_oborudovanie) – (дата обращения 22.05.2018)

19. «Щековая дробилка ЩД6» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://www.eurolab.ru/schekovaya\\_drobilka](http://www.eurolab.ru/schekovaya_drobilka) – (дата обращения 20.05.2018)
20. «Дисковый истиратель ЛДИ 65» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://drobtehnika.ru/oborudovanie/laboratornoe/laboratornie-diskovie-istirateley/diskoviy-istiratel-ldi-65/> – (дата обращения 22.05.2018)
21. «Барабанные шаровые мельницы» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://www.intech-gmbh.ru/ball\\_drums.php](http://www.intech-gmbh.ru/ball_drums.php) – (дата обращения 22.05.2018)
22. «Лабораторные весы ВК-300» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://lab-metr.ru/vesy\\_laboratornye\\_vk-300.html](http://lab-metr.ru/vesy_laboratornye_vk-300.html) – (дата обращения 21.05.2018)
23. «Химия титана» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uhi.mik.ru/29313/index.pdf> – (дата обращения 21.05.2018)
24. «Порошковые композиционные материалы и изделия» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://portal.tpu.ru/SHARED/o/OVECHKINB/educational/kompozit\\_material/Tab1/Metodichka.pdf](http://portal.tpu.ru/SHARED/o/OVECHKINB/educational/kompozit_material/Tab1/Metodichka.pdf) – (дата обращения 21.05.2018)
25. «Химия материалов со специальными свойствами» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/1730926/> – (дата обращения 22.05.2018)
26. «Горение смеси алюминия с титаносодержащим сырьём» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.sibran.ru/upload/iblock/d3a/d3ac4b4b20a9ed22a0d41c2a880cb592.pdf> – (дата обращения 22.05.2018)
27. Категоренко Ю.И. «Выпускная квалификационная работа. Методические рекомендации по выполнению.» Екатеринбург, 2017. 42 с.
28. «СВС микро- и нанопорошков карбида титана из гранулированной шихты» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://d21221701.samgtu.ru/sit>

[es/d21221701.samgtu.ru/files/avtoreferat\\_samborukaa.pdf](http://es/d21221701.samgtu.ru/files/avtoreferat_samborukaa.pdf) – (дата обращения 23.05.2018)

29. «Проект. Реактор СВС» [Электронный ресурс].- Режим па: <http://studydoc.ru/doc/417549/rezyume-proekt-reaktor-svs> – (дата обращения 23.05.2018)

30. «Предприятие СВС» [Электронный ресурс].- Режим доступа:– [http://importozamechenie.ru/proekt-po-sozdaniyu-proizvodstvennogo\\_predpriyatiya-na-baze-texnologii-svs-svs-samorasprostranyayushhegosya-vysokotemperaturnogo-sinteza/](http://importozamechenie.ru/proekt-po-sozdaniyu-proizvodstvennogo_predpriyatiya-na-baze-texnologii-svs-svs-samorasprostranyayushhegosya-vysokotemperaturnogo-sinteza/) (дата обращения 23.05.2018)

31. «Опытное оборудование для процессов свс. безопасность и стандартизация» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://socionet.ru/publication.xml?h=spz:neicon:powder:y:2013:i:1:p:34-41> – (дата обращения 24.05.2018)